

627.06
INTR
892, U.1

275
Sun Rises 5.57 ; Sets 5.49.
1
Moon Sets 12.07 A. M.
2.52

4- ...

DE NA

THE UNIVERSITY
OF ILLINOIS
LIBRARY

AL
RIEURE

627.06
INR
1892
U.I

BOOKSTACKS

1^{re} QUESTION

- SCHLICHTING. Consolidation des berges des canaux.
PESLIN Consolidation des berges des canaux dans la région
du Nord de la France.
VAN DER SLEYDEN. Consolidation des berges des canaux des Pays-Bas.
DE HËRSCHELMANN Sur quelques travaux de Consolidation des berges
des canaux exécutés en Russie.

2^{ème} QUESTION

- LEBOUCQ. Alimentation des canaux de la Belgique.
DENYS. Alimentation des canaux principalement dans l'Est
de la France.

3^{ème} QUESTION

- BOMPIANI ET LUIGGI. . . . Moyens employés en Italie pour l'éclanchement des
canaux.

4^{ème} QUESTION

- BAROIS Des Réservoirs dans les Indes anglaises.
DE LLAURADO Réservoirs établis en Espagne.
BOUVIER. Les Réservoirs dans le Midi de la France.
CADART Les Réservoirs du département de la Haute-Marne.
FONTAINE Les Réservoirs d'alimentation. Canal du Centre et
canal de Bourgogne.
DE HËRSCHELMANN Des principaux Réservoirs établis en Russie.

V^{ème} CONGRÈS INTERNATIONAL DE NAVIGATION INTÉRIEURE
PARIS 1892

1^{ère} QUESTION

CONSOLIDATION

DES

BERGES DES CANAUX

RAPPORT

PAR

M. I. SCHLICHTING

Professeur ordinaire
de Construction hydraulique à l'École royale technique supérieure de Berlin

PARIS

IMPRIMERIE GÉNÉRALE LAHURE

9, RUE DE FLEURUS, 9

1892

V^{ÈME} CONGRÈS INTERNATIONAL
DE NAVIGATION INTÉRIEURE

PARIS — 1892

THE UNIVERSITY

OF ILLINOIS

1^{ère} QUESTION

- SCHLICHTING. Consolidation des berges des canaux.
PESLIN Consolidation des berges des canaux dans la région
du Nord de la France.
VAN DER SLEYDEN Consolidation des berges des canaux des Pays-Bas.
DE HÖRSCHELMANN Sur quelques travaux de Consolidation des berges
des canaux exécutés en Russie.

2^{ème} QUESTION

- LEBOUCQ. Alimentation des canaux de la Belgique.
DENYS. Alimentation des canaux principalement dans l'Est
de la France.

3^{ème} QUESTION

- BOMPIANI ET LUIGGI. Moyens employés en Italie pour l'étanchement des
canaux.

4^{ème} QUESTION

- BAROIS Des Réservoirs dans les Indes anglaises.
DE LLAURADO Réservoirs établis en Espagne.
BOUVIER. Les Réservoirs dans le Midi de la France.
CADART Les Réservoirs du département de la Haute-Marne.
FONTAINE Les Réservoirs d'alimentation. Canal du Centre et
canal de Bourgogne.
DE HÖRSCHELMANN Des principaux Réservoirs établis en Russie.

V^{ème} CONGRÈS INTERNATIONAL DE NAVIGATION INTÉRIEURE
PARIS 1892

1^{ère} QUESTION

CONSOLIDATION

DES

BERGES DES CANAUX

RAPPORT

PAR

M. I. SCHLICHTING

Professeur ordinaire
de Construction hydraulique à l'École royale technique supérieure de Berlin

PARIS

IMPRIMERIE GÉNÉRALE LAHURE

9, RUE DE FLEURUS, 9

—
1892

CONSOLIDATION DES BERGES DES CANAUX

RAPPORT

PAR

M. I. SCHLICHTING

Professeur ordinaire de construction hydraulique à l'Ecole royale technique supérieure de Berlin.

INTRODUCTION

Les canaux de navigation ont, par rapport aux voies navigables naturelles, ce désavantage que leurs berges sont beaucoup plus exposées aux dégradations. En raison de la faible largeur de ces voies artificielles, les courants et les ondes produites par le mouvement des bateaux sont bien plus prononcés et attaquent les berges d'une façon beaucoup plus sérieuse que sur les voies naturelles où la largeur est plus considérable. On conçoit que sur un canal où la section immergée d'un bateau occupe généralement de $\frac{1}{6}$ à $\frac{1}{3}$ de la section mouillée, le déplacement de ce bateau donne naissance à des courants latéraux beaucoup plus violents que sur les rivières, où l'espace libre est toujours plus considérable.

La même différence se retrouve pour les vagues produites par les roues ou les hélices des bateaux à vapeur. Sur les canaux, ces vagues frappent les berges presque immédiatement, alors qu'elles ont encore toute leur puissance, tandis que sur les cours d'eau naturels elles ne parviennent à la rive qu'après un certain parcours durant lequel leur force vive s'atténue.

Ces inconvénients sont devenus bien plus sensibles encore depuis que les besoins sans cesse croissants du trafic ont conduit à l'introduction de la navigation à vapeur sur les canaux et à l'augmentation de la vitesse des bateaux. Sans doute, le halage est encore aujourd'hui le mode de propulsion le plus répandu, mais cela tient à ce que la plupart des canaux existants ont été construits à une époque où les exigences du trafic étaient moins grandes, en vue de ce mode de traction. Avec les faibles vitesses que ne permet pas de dépasser le halage, l'action érosive contre les berges est peu importante et celles-ci peuvent être défendues d'une façon relativement simple et peu coûteuse. Mais les procédés qui suffisaient pour la protection des berges avec le seul halage, ne suffisent plus à notre époque. En s'effor-

cant d'offrir au trafic sur les voies navigables des conditions analogues à celles qu'il trouve sur les chemins de fer, on se trouve entraîné à développer l'usage de la navigation à vapeur de manière à obtenir une célérité que ne saurait procurer le halage. Déjà sur certains grands canaux et notamment sur les canaux maritimes, la navigation à vapeur est d'un usage général; déjà même, et depuis un temps assez long, elle existe sur nombre de canaux intérieurs; on peut citer par exemple: le canal Trollhätta-Göta-Sødertelge et celui de Stockholm, reliant la mer du Nord à la Baltique à travers la Suède; le canal belge de Gand à Terneuzen; les canaux prussiens: de Finow, d'Oranienbourg, de Ruppín; enfin le canal, de construction récente, de l'Oder à la Sprée. Sur les canaux suédois, les vapeurs circulent avec des vitesses s'élevant jusqu'à 9 kilom. 5; sur les canaux belges, la vitesse est de 12 kilomètres pour les bateaux de 2 mètres d'enfoncement et de 8 kilom. 7 seulement pour les bateaux de 2 m. 75 d'enfoncement; enfin, sur les canaux prussiens la vitesse de 7 kilom. 5 à l'heure est admise. Ces vitesses se rapportent surtout, il est vrai, aux bateaux pour voyageurs, mais, même pour les trains ordinaires de remorquage, la vitesse ne reste pas inférieure à 5 kilomètres à l'heure. Il est donc de toute nécessité de défendre les berges de ces canaux d'une façon beaucoup plus sérieuse qu'on ne le fait sur les canaux intérieurs où l'on ne pratique que le halage. Divers procédés de consolidation ont déjà été appliqués sur nombre de canaux où existe la navigation à vapeur, et tout particulièrement sur les canaux maritimes; ces applications ont démontré qu'il était nécessaire de chercher à améliorer les procédés en usage, c'est pourquoi le Congrès international de navigation intérieure a inscrit à son ordre du jour cette question de la défense des berges des canaux. Le présent rapport apporte son contingent à la discussion, il comprend deux parties: 1° Considérations sur la forme du profil en travers des canaux; 2° examen des procédés de défense des berges employés jusqu'ici.

I. — CONSIDÉRATIONS SUR LA FORME DU PROFIL EN TRAVERS DES CANAUX

Pour se rendre compte des conditions auxquelles doit satisfaire, en ce qui concerne la défense des berges, le profil en travers d'un canal affecté à une navigation à grande vitesse, il faut étudier attentivement la cause des dominages occasionnés aux berges par la navigation à vapeur. C'est des données fournies par cette étude que l'on pourra déduire les moyens propres à combattre cette action fâcheuse.

La dégradation des berges est due aux mouvements violents et irréguliers imprimés à l'eau par les *courants* et les *ondes* auxquels donne naissance le déplacement des bateaux. Quand un bateau est en mouvement, il forme, en raison de l'importance relative de sa section immergée une sorte de barrage et provoque la formation, à son avant, d'un remous; les eaux

n'ont pour s'éconler que les espaces restreints restés libres sous la quille et sur les côtés du bateau, et il en résulte dans ces parties des courants énergiques dirigés vers les berges. De son côté l'appel qui se produit pour le remplissage du vide laissé par le bateau derrière lui donne naissance à un courant qui, dirigé en sens contraire des précédents, contribue encore à les rejeter vers les berges. L'agitation à laquelle donnent naissance ces courants est encore augmentée par les ondes produites, à chaque tour, par les roues ou l'hélice des bateaux à vapeur et qui parviennent aux rives presque immédiatement avant d'avoir pu, par suite, rien perdre de leur violence. Ces vagues, quand elles arrivent sur une berge en talus, gravissent la pente jusqu'à ce qu'elles aient dépensé leur force vive et redescendent ensuite, en heurtant les vagues qui les suivaient, donnant ainsi encore naissance à des remous. L'onde créée le long des berges par le mouvement d'un bateau est d'ailleurs gonflée encore par sa rencontre avec le courant en sens contraire engendré par le remous dû à la marche du bateau. On conçoit que des berges *bien* défendues seules puissent résister à ces actions destructives.

Mais l'expérience nous apprend que même les berges bien consolidées sont exposées, sous l'action incessante de l'eau, à des avaries fréquentes et exigent des dépenses élevées d'entretien. Il appartient donc à l'hydraulique de chercher à améliorer la situation en s'attaquant à la cause même des dégradations, c'est-à-dire en s'efforçant de réduire la violence des courants et des vagues.

Deux moyens se présentent dans ce but :

1° Pour affaiblir le courant : *Augmenter le profil en travers du canal en augmentant la largeur et la profondeur.*

2° Pour atténuer le choc des vagues : *Etablir les berges verticalement ou à peu près au lieu de leur donner une pente plus ou moins prononcée comme on l'a fait jusqu'ici.*

Malheureusement l'application de ces procédés soulève des difficultés pratiques, la question de dépense intervient notamment et ne permet que des applications partielles; cependant même dans ce cas, on obtient une amélioration très sensible des conditions actuelles.

Examinons d'abord la question de *largeur du canal*. Je demanderai la permission de me reporter à ce sujet au rapport que j'ai présenté en 1886 à Vienne, au II^e Congrès international de navigation intérieure sur le « Profil normal à donner aux canaux intérieurs ». Le Congrès de Vienne demandait pour ces canaux une largeur telle que le rapport n entre la section immergée d'un bateau et la section mouillée du canal fût égal à $1/4$. Dans ces conditions, la résistance du bateau était, d'après les graphiques annexés au rapport, relativement faible avec une vitesse de propagation considérable; mais cette résistance augmentait comme le carré des vitesses et atteignait par suite bientôt une grande importance quand la vitesse augmentait. C'est pourquoi on dut s'imposer certaines limites dans la régle-

mentation des vitesses de locomotion des bateaux et se contenter pour les marchandises de vitesses de 5 à 6 kilom. à l'heure sur les canaux intérieurs et d'environ 8 à 10 kilom. sur les canaux maritimes quand, pour ceux-ci, le rapport n est au plus égal à $1/6$.

Les résultats suivants fournis par des expériences faites sur le canal Erié éclairent un peu la question. Bien qu'elles aient été faites avec un bateau de dimensions relativement restreintes (29 m. 50 de long, 5 m. 37 de large, et 1 m. 85 de tirant d'eau), et que par suite les résultats ne puissent être généralisés, ils n'en fournissent pas moins une idée approximative des résistances. La résistance du bateau par mètre carré de surface immergée est pour $n = 1/4$ de

kil.				
1,12	pour une vitesse de	3	kilomètres à l'heure	
1,99	—	4	—	—
3,11	—	5	—	—
4,49	—	6	—	—
6,11	—	7	—	—
8,00	—	8	—	—
10,10	—	9	—	—
12,46	—	10	—	—

Avec $n = 1/6$, la résistance diminue, elle est de

kil.				
1,96	pour une vitesse de	5	kilomètres à l'heure	
3,11	—	6,5	—	—
4,69	—	7,6	—	—
6,11	—	8,8	—	—
7,85	—	10,0	—	—

L'augmentation de la largeur du canal a donc pour effet de réduire la résistance au mouvement du bateau; malheureusement les considérations financières ne permettent pas de donner aux canaux une largeur plus considérable que celle commandée par les besoins du trafic et la sécurité de l'exploitation. Il en est absolument de même pour la *profondeur* du canal, de sorte que le premier procédé ne peut être appliqué que partiellement, et peut bien améliorer les conditions nautiques, mais ne saurait les modifier d'une façon suffisante.

Le second procédé : *Etablissement de berges à paroi verticale*, paraît donner, même avec une application restreinte, de meilleurs résultats, car il est beaucoup plus employé qu'il ne l'avait été jusqu'ici. Il offre en effet deux avantages essentiels : *suppression du va-et-rient des vagues* sur la berge, et *réduction de la surface à défendre*.

On sait que la verticalité des rives atténue notablement l'action érosive des vagues, la force vive de celles-ci se trouvant amortie par le choc entre la paroi et par le heurt des vagues précédentes, qui, après s'être élevées verticalement, retombent sur celles qui les suivent : avec une paroi verticale résistante, les vagues n'attaquent que fort peu les talus supérieurs; en

même temps elles se déplacent d'une façon plus régulière le long de la rive que dans le cas de la rive en talus. Il n'est dès lors plus nécessaire de consolider les talus supérieurs, quelquefois très étendus. Il est vrai que l'établissement de rives verticales résistantes, que l'on retrouve d'ailleurs très fréquemment en Hollande, est un peu plus coûteux que la consolidation des berges inclinées. Mais la plus-value se trouve à peu près compensée par l'économie qu'on réalise sur les frais d'entretien; la paroi verticale ne donne en effet qu'une surface moitié moindre à peu près que la berge inclinée; la surface du talus est en effet égale à 1,8 fois la surface verticale, pour une inclinaison de 3 de base pour 2 de hauteur, et à 2 1/4 fois cette surface avec l'inclinaison de 2 pour 1.

Pourtant, malgré ces avantages, ce n'est qu'exceptionnellement, et seulement sur des canaux de 2 m. à 2 m. 50 de profondeur, que l'on trouve les parois verticales ou à peu près, allant du fond du canal jusqu'au niveau de l'eau, disposition adoptée notamment sur le canal Finow, en Prusse. Pour les canaux de plus grande profondeur, et aussi sur la plupart des canaux intérieurs, il ne peut être question de paroi verticale que pour la partie supérieure de la berge particulièrement exposée à l'action destructive des vagues; mais il faut alors une fondation solide.

Les avantages des berges verticales avaient du reste déjà été signalés, lors du premier congrès international de navigation intérieure (Bruxelles), par M. le commandeur Gioia, ingénieur à Rome, membre de la commission internationale instituée pour l'amélioration du canal de Suez, qui s'exprimait ainsi (voir procès-verbaux des séances du congrès international de navigation intérieure tenu à Bruxelles, du 24 mai au 2 juin 1885, p. 9).

« Nos recherches sur l'action des vagues nous ont conduit à cette conclusion que l'agitation à laquelle elles donnent lieu est sensible jusqu'à 2 mètres de profondeur et ne dépasse pas la hauteur de 1 mètre au-dessus du niveau de l'eau. C'est donc 3 mètres de hauteur verticale de berge à protéger. *Nous avons en outre remarqué que cette agitation diminuait à mesure que les berges se rapprochaient de la verticalité.* »

Or, 3 mètres de hauteur verticale donnent avec un talus de 1 1/2 pour 1, une surface de 5 m² 40, et avec un talus de 2 pour 1 une surface de 6 m² 65, au lieu de 3 mètres carrés de la paroi verticale.

Avec la rive verticale, les vagues déferlent, il faut donc donner à la berge une hauteur suffisante pour que l'eau ne puisse atteindre le talus supérieur. Il y a là une hauteur limite qui devra être déterminée expérimentalement pour chaque cas, car elle dépend non seulement de la largeur du canal et de la vitesse des bateaux, mais aussi du mode de propulsion adopté par ceux-ci, la résistance qu'il est nécessaire d'assurer aux berges pouvant être diminuée si le mécanisme de propulsion donne des vagues moins fortes.

L'adoption des parois verticales permet de supprimer la berme près du niveau de l'eau et dispense de tout travail de consolidation des talus supé-

rieurs ; on réalise donc de ce chef une économie sérieuse sur les frais d'établissement du canal. Cependant les bermes existent déjà sur quantité de canaux ; tantôt elles ont pour but d'atténuer l'agitation de l'eau dans le voisinage de la surface libre en augmentant le profil en travers, tantôt elles sont couvertes de plantations de roseaux, d'osiers, etc., et d'un clayonnage, de manière à briser les vagues et à garantir les parties du talus les plus exposées au choc de celles-ci, tantôt enfin elles isolent une couche d'eau qui reçoit le premier choc des vagues. Pourtant les bermes sont aussi exposées à des dégradations importantes, ainsi qu'en témoignent les pavages ou les perrés dont on les recouvre pour les protéger.

Les considérations qui précèdent conduisent l'auteur à proposer comme moyen pratique de consolidation des berges des canaux le système suivant :

1° Choisir le profil en travers du canal de telle sorte que le rapport de la section immergée du bateau à la section mouillée du canal soit au moins égal à $1/4$, pour les canaux intérieurs de 2 mètres à 2 m. 50 de tirant d'eau, et à $1/6$ pour les canaux maritimes.

2° Établir des berges résistantes, solidement assises, à paroi verticale ou à peu près, s'étendant au-dessous du niveau de l'eau jusqu'à la profondeur où l'action des vagues se fait surtout sentir, et s'élevant au-dessus de la surface libre à une hauteur suffisante pour empêcher les vagues d'atteindre le talus supérieur de la berge ou la berme s'il en existe une.

II. — DISCUSSION DES TRAVAUX DE DÉFENSE DE BERGES EXÉCUTÉS

Tant que les canaux n'ont été fréquentés que par des bateaux de dimensions relativement faibles, naviguant à la voile ou se faisant halier, il a suffi, pour défendre les berges dans le voisinage du plan d'eau, de moyens simples tels que l'établissement de bermes ou de légers revêtements en pierre, plantations de roseaux, d'osiers, etc.

Mais ces procédés ne sauraient opposer une résistance sérieuse aux chocs violents des vagues soulevées par les bateaux à vapeur. Il a donc fallu recourir à des moyens de protection plus efficaces ; les essais faits dans cette voie sont déjà assez nombreux ; ils sont des plus variés en raison de la diversité des conditions locales, et de la multiplicité des facteurs en jeu. Parmi les plus importants de ces facteurs on peut ranger la nature du fond du canal, les dimensions du profil en travers, la grandeur et le nombre des bateaux, les modes d'exploitation, de propulsion des bateaux, d'utilisation des rives ; il faut tenir compte aussi, en première ligne, des matériaux de construction que l'on peut utiliser et des ressources financières que l'on a à sa disposition. Il est certain que la consolidation des berges dans un terrain sablonneux ne se fera pas comme celle des berges dans un terrain argileux, que pour des canaux dont le profil a des dimen-

sions ordinaires et qui ne sont appelés à desservir qu'un faible trafic, les conditions seront tout autres que pour les grands canaux à gros trafic. Telle disposition convenable pour un trafic médiocre, devient tout à fait insuffisante pour un trafic considérable. Si l'exploitation est organisée d'une façon uniforme, si, par exemple, la traction des bateaux s'effectue par remorquage, on pourra négliger certaines considérations dont il faudra au contraire tenir compte dans le cas des canaux à exploitation mixte. De même, une rive qui doit être utilisée pour le chargement et le déchargement des bateaux ou qui doit servir de voie de transport, exigera une tout autre installation que la rive ordinaire en rase campagne. Enfin, dans la plupart des cas la question financière oblige à n'employer que les matériaux que l'on trouve dans le voisinage du canal, ou qu'on peut se procurer sans difficulté ni dépense extraordinaires.

Il ne sera d'ailleurs pas hors de propos, avant d'entamer l'examen des différents procédés appliqués à la consolidation des berges des canaux, de rappeler les résultats obtenus dès 1885 et communiqués au Congrès de Bruxelles en réponse à la question posée par ce Congrès : « Quels sont les meilleurs moyens de consolidation des berges dans le cas de la navigation à grande vitesse. »

Le Congrès de Bruxelles avait renvoyé l'étude de cette question à une commission spéciale présidée par M. l'ingénieur en chef Alfred Pasqueau, de Bordeaux. Cette commission déposa les conclusions suivantes :

« Dans le cas de petits vapeurs marchant à grande vitesse, l'établissement à 0 m. 20 ou 0 m. 30 au-dessous du plan d'eau de berms garnies de plantations de roseaux et d'osier peut donner de bons résultats. Il ne faut pas toutefois que le plan d'eau soit exposé à des variations trop grandes.

« Mais s'il s'agit de gros bateaux marchant à grande vitesse, il semble que le seul moyen de protéger la berge soit le *revêtement en maçonnerie* avec pierres naturelles ou artificielles. Les berms devront alors être immergées de 1 mètre environ et les perrés s'appuieront sur une série de pieux ou de palplanches. Le revêtement en pierre peut ne pas être étendu à la berme, si celle-ci se trouve à 2 mètres au moins au-dessous de l'eau et si les perrés des talus ont été exécutés très soigneusement. Ce mode de construction permet des talus assez raides, 45 degrés, par exemple.

« Sur les canaux maritimes avec navigation à grande vitesse il semble convenable de couvrir les talus de plantations jusqu'à une certaine profondeur au-dessous du plan d'eau, autant que faire se peut. »

Une autre commission du même congrès étudiant également la question sous la présidence de M. l'ingénieur en chef Bouffet, de Carcassonne, appelait l'attention du congrès sur un rapport de M. l'ingénieur en chef M. Brevet, de Middelbourg, qui préconise les procédés suivants :

Consolidation des berges depuis 0 m. 50 au-dessus du plan d'eau jus-

qu'à 1 mètre à 1 m. 50 au-dessous, pour protéger les talus contre les vagues produites par les vapeurs à grande vitesse.

Sur les canaux à niveau pen variable, il n'est pas nécessaire de consolider la partie des berges au-dessus de l'étiage, pourvu que la berge submergée soit garnie de plantations de roseaux.

La consolidation des berges sera obtenue au moyen de perrés maçonnés pour les talus à inclinaison prononcée, et au moyen de perrés à sec pour les talus de 1 1/2 à 3 de base pour 1 de hauteur.

En général, le Congrès fut favorable au revêtement des talus au moyen de *perrés*, et ces ouvrages furent employés sur beaucoup de canaux intérieurs et maritimes; toutefois on a eu souvent aussi recours à de nombreux autres modes de consolidation. Il nous a paru logique de classer ces divers procédés en catégories d'après la matière qu'ils empruntent et de réunir les divers exemples de chaque catégorie en indiquant leur emplacement et les dépenses auxquelles ils ont donné lieu par mètre courant de berge. Les indications relatives aux dépenses sont empruntées soit à des ouvrages publiés, soit à des communications d'ingénieurs ayant une expérience personnelle sur la question.

Si l'on classe les procédés de consolidation des berges des canaux d'après la matière des matériaux employés, on peut établir 3 classes : 1° constructions en bois; 2° constructions en pierres; 3° constructions mixtes.

1. Constructions en bois.

a. — Revêtements en charpente.

En dehors des revêtements en charpente régnant tout le long de la rive, depuis le fond du canal jusqu'au couronnement de la berge et employés seulement sur les points où les bateaux doivent accoster pour leur chargement ou leur déchargement, ou bien lorsqu'on ne dispose que d'un espace limité pour l'établissement d'une voie le long de la rive, on trouve aussi sur la partie courante des canaux des revêtements en bois délimitant la rive presque verticalement aux environs du plan d'eau et s'enfonçant plus ou moins profondément dans le talus inférieur. Ordinairement ces revêtements ne dépassent guère le plan d'eau; ils présentent du reste de nombreuses différences dans les détails d'exécution, ainsi que le montreront les exemples cités ci-après, bien que tous aient le même but : établissement d'une paroi en bois à peu près verticale et aussi compacte que possible.

Ces revêtements sont surtout employés en Hollande; M. l'ingénieur du Waterstaat Van Kerkhoff a décrit leur construction dans une excellente note publiée dans le *Tijdschrift van het Koninklijk Institut van Ingenieurs* de 1888-1889, à laquelle sont empruntés les renseignements relatés ci-après.

Canal Nord-Holland.

Le revêtement est formé d'une ligne de pieux de 3 m. 75 de long et 0 m. 10 \times 0 m. 11 d'équarrissage, enfoncés dans le talus à intervalles de 0 m. 75, et derrière lesquels sont appliquées des palplanches de 0 m. 04 d'épaisseur et 2 m. 00 de haut, dont l'extrémité inférieure est fichée dans le talus, tandis que l'extrémité supérieure s'appuie sur un cours de moises de 0 m. 28 \times 0 m. 05 fixées aux pieux par des boulons. Les joints entre les madriers sont garnis de couvre-joints et le revêtement ainsi constitué s'élève jusqu'à 0 m. 10 au-dessus du plan d'eau. La dépense est de 7 francs¹. Quand on se sert de bois un peu plus fort, de pieux de 5 mètres et de palplanches de 2 m. 75, la dépense s'élève à 10 fr. 40 et, dans le cas où les pieux sont amarrés au moyen d'ancres en fer à des pieux enfoncés en arrière, elle atteint 15 fr. 60.

Canal Amsterdam-Merwede.

Le revêtement est constitué de la même façon; on a établi en outre en arrière de la ligne de palplanches, à 0 m. 54 au-dessus du niveau de l'eau, une berme de 2 m. 80 de large avec revêtement en bois. Prix, 15 fr. 16.

Willemsvaart.

Les pieux de 5 mètres de long et 15 centimètres carrés d'équarrissage sont placés à intervalles de 1 m. 20. Les palplanches, de 0 m. 07 d'épaisseur et 2 mètres de long, ont environ 1 mètre de fiche et émergent de l'eau. La dépense est de 11 fr. 55.

b. — Revêtements en fascines. — Canal de Terneuzen.

Depuis le plan d'eau jusqu'à une berme de 2 mètres de large établie à 1 m. 60 au-dessous, la rive est garnie d'un fascinage de 2 mètres d'épaisseur établi à peu près verticalement et sur la crête duquel s'appuie le talus supérieur en laissant une berme de 0 m. 50 de large. Dépense 8 fr. 10.

Canal Finow (Allemagne).

Les berges sont protégées soit par des fascinages épais, soit par des fascinages légers.

Dans le premier cas, les fascinages ont une épaisseur moyenne de 1 m. 75 et présentent sur leur face antérieure un fruit de 1/4 à 1/2. Les fascines placées perpendiculairement au plafond du canal avec leur gros bout du côté de l'eau, s'élèvent de 0 m. 50 à 0 m. 50 au-dessus du plan d'eau; au niveau de celui-ci, est établi un clayonnage derrière lequel sont placées des pierres. Le couronnement du revêtement, de 1 m. 50 de large, est recouvert de branchages d'osier fraîchement coupés qui ne tardent pas

1. Les chiffres de dépense se rapportent toujours au mètre courant de berge.

à donner naissance à une végétation luxuriante et contribuent ainsi à atténuer la violence des vagues. La dépense est de 18 fr. 12.

D'après des expériences prolongées durant de longues années, ce revêtement se maintient sous l'eau pendant 15 à 18 ans, mais ne dure guère que 6 à 8 ans dans la partie au-dessus de l'eau, de sorte qu'il est nécessaire de procéder à de nouvelles plantations d'osiers. Il est avantageux de former, lors de la construction du revêtement, les couches situées au-dessus de l'eau de fascines vertes, de manière à favoriser la végétation.

Il serait bon que ce revêtement fût établi à partir du fond du canal, mais les nécessités de l'exploitation du canal ne le permettent souvent pas. Dans ce cas, le revêtement s'appuie sur une berme de 2 mètres de large que l'on établit à 0 m. 20 seulement au-dessous du plan d'eau. La dépense se réduit alors à 6 francs.

Les fascinages légers n'ont que 0 m. 50 d'épaisseur et couvrent la rive depuis le fond jusqu'à 0 m. 50 ou 0 m. 50 au-dessus du plan d'eau. Le revêtement est formé de saucissons placés parallèlement à l'axe du canal et de pieux. Au-dessous de l'eau on emploie les fascinages ordinaires de forêt, au-dessus on se sert de fascines d'osier fraîchement coupé. On se sert aussi dans ce cas, à la hauteur du plan d'eau, de clayonnages avec bourrage en pierre. Les revêtements légers ainsi obtenus se comportent très bien sur les canaux larges et à talus peu inclinés; leur durée est assez longue parce que les eaux ne tardent pas à y produire des dépôts qui donnent de la compacité au revêtement. La dépense est de 2 fr. 50 à 5 fr. 75.

Canal de l'Oder à la Sprée (Allemagne).

Sur ce canal de construction récente, les revêtements en fascines dont il vient d'être parlé, légers aussi bien qu'épais, ont été employés pour des talus à 2 de base pour 1 de hauteur, dans une proportion telle qu'ils ont exigé en tout 75 000 mètres cubes de fascines. Près du plan d'eau, les fascinages légers sont recouverts d'une couche de 0 m. 15 de fascines d'osier vert chargée de pierres calcaires retenues par un multiple clayonnage. Prix, 5 francs.

Anciens canaux de la Marche prussienne.

Les berges ont été pourvues après la construction de revêtements en fascines, légers ou épais, sur les points menacés.

2. Constructions en pierre.

Il faut ranger tout d'abord parmi ces constructions les murs de soutènements fondés sur béton ou sur pilotis, et s'élevant du plafond du canal au couronnement de la berge. Mais on n'emploie ces murs qu'exception-

nellement soit dans les endroits où l'espace fait défaut, soit pour procurer aux bateaux un emplacement où ils puissent opérer plus aisément leur chargement et leur déchargement, soit enfin pour répondre aux exigences du trafic. Nous n'examinerons donc ici que les revêtements de berges proprement dits avec enrochements, pavage ou maçonnerie.

Sur les canaux intérieurs, ces revêtements s'étendent parfois sur toute la surface du talus depuis le pied jusqu'au-dessus du plan d'eau, mais la plupart du temps ils sont limités à la partie du talus qui avoisine le plan d'eau.

Canal Trollhøetta-Göta (Suède).

Le talus inférieur est garni d'enrochements à partir du pied, et le talus supérieur reçoit, jusqu'à 0 m. 50 au-dessus du plan d'eau, un pavage exécuté tantôt à bain de mortier, tantôt à sec. Ce dernier mode de revêtement donne lieu à de fréquentes réparations, à cause de la circulation des vapeurs à grande vitesse. Les plantations de roseaux ne prospèrent que là où, comme aux approches des ponts et des écluses, les bateaux doivent ralentir leur marche. Les rives sont souvent garnies de plantations d'osier pour atténuer la violence des vagues.

Canal de Saint-Quentin (France).

Sur quelques points on a fait usage de murs de soutènement, mais le plus souvent les rives sont pourvues de simples revêtements en maçonnerie depuis le fond du canal jusqu'au-dessus du plan d'eau. (Voir : *Handbuch der Ingenieurwissenschaften*, vol. III, partie II, chap. x, Leipzig, 1882.)

Canal de la Marne au Rhin (France).

Là où il y avait lieu d'assurer l'étanchéité des rives, les talus ont été recouverts, ainsi que le plafond du canal, d'une couche de béton.

Canal Erié (Amérique).

On avait d'abord consolidé les talus inclinés à $1\frac{1}{2}$ pour 1 au moyen d'un pavage en briques ne couvrant qu'une faible surface dans le voisinage du plan d'eau. Mais ce pavage n'ayant pas donné de bons résultats, il a été remplacé par un revêtement en briques qui s'étend depuis le pied du talus jusqu'à 0 m. 50 au-dessus du plan d'eau. Ce dernier mode est beaucoup plus recommandable, il coûte de 9 fr. 50 à 15 francs.

Canal du Forth à la Clyde (Angleterre).

Les revêtements en maçonnerie, exécutés tantôt verticalement, tantôt avec fruit, s'appuient sur le talus, à 0 m. 60 ou 1 mètre au-dessous du

plan d'eau et s'élèvent souvent jusqu'à la hauteur du chemin de halage.

Canal de la mer du Nord à la Baltique (Allemagne).

Sur ce canal, actuellement en cours de construction et qui mesure 22 mètres de largeur au plafond, 58 mètres au plan d'eau et 8 m. 50 (éventuellement 9 m.) de profondeur, des expériences ont été faites au point de vue de la consolidation des berges. M. l'ingénieur en chef Baensch, conseiller intime au Ministère des Travaux publics à Berlin, rendant compte dans le *Centralblatt der Bauverwaltung* (1891) de ces expériences, s'exprime ainsi :

« La section transversale du canal comporte à sa partie supérieure, à deux mètres environ au-dessous du plan d'eau normal, une berme de 2 m. 50 à 9 mètres de large, selon la nature du sol; cette berme sert de point d'appui à un perré protégeant la berge contre le choc des vagues et donne en même temps toute sécurité, les lames brisantes venant s'amortir sur un matelas d'eau au lieu de frapper directement la berge.

Au début ce perré était établi à 45°, pour réduire l'importance des travaux de terrassement, mais on reconnut bientôt en exécution qu'il n'était pas possible de construire ce perré assez rapidement pour soustraire immédiatement les talus en terre à l'action des intempéries. Quelques éboulements se produisirent et firent donner au talus une pente de 2 pour 1, afin de lui assurer plus de résistance par lui-même indépendamment du perré.

La forme et le mode de construction de ces perrés varient d'ailleurs selon qu'ils sont établis à sec ou sous l'eau et selon la nature des pierres dont on dispose. Les entrepreneurs de terrassement sont tenus d'employer, contre indemnité, les matériaux trouvés dans les fouilles, autrement ils ont à s'en procurer.

Lorsque le terrain ne contient pas de pierre et qu'il serait trop coûteux des'en procurer, on a recours à la brique crute et pour en limiter l'emploi, on établit dans les parties sous l'eau des revêtements en béton. Il en résulte, selon les conditions locales, 4 formes de revêtements :

1° Sous l'eau, une simple couche de 0 m. 50 d'épaisseur de briques ou de pierres cassées jetées sur le talus, les débris les plus fins étant jetés d'abord et les plus gros ensuite pour former la paroi extérieure (fig. 1). Les pierres utilisables trouvées dans la fouille sont également employées pour former ce genre de revêtement, à la condition expresse toutefois qu'elles soient de forme anguleuse et non arrondies, afin qu'elles ne soient pas roulées trop facilement par les vagues; ces enrochements s'appuient contre un massif de 0 m. 50 de large en briques.

Quand la fouille du canal peut être exécutée à sec au moins jusqu'au pied du talus, le revêtement en pierre est établi d'une façon plus compacte.

2° Les perrés en moellons établis (fig. 2) sur une fondation de 0 m. 20

d'épaisseur, de débris de briques et de gravier; ces perrés, formés d'un pavage de 0 m. 10 d'épaisseur en moellon de granit, s'appuient au pied sur un massif de 0,40 de large et se raccordent avec la partie supérieure gazonnée du talus par un arc de cercle de 3 mètres de rayon.

3° Lorsqu'on se trouve dans un terrain sablonneux ou que la rive a été constituée au moyen de remblais de sable, le talus est recouvert d'abord d'une couche de glaise de 0 m. 20 (fig. 3), sur laquelle on construit un revêtement en briques de champ de 0 m. 25 d'épaisseur s'appuyant au pied contre un massif de 0 m. 50 de large et se raccordant avec le talus supérieur incliné à 5 pour 1, par un arc de cercle de 1 mètre de rayon.

4° Là où les moellons et la brique sont trop coûteux, et où au contraire il est facile de se procurer à bon marché du sable et du ciment, le revêtement est établi en trois parties à partir d'un massif en moellon de 0 m. 75 de large et 0 m. 25 d'épaisseur établi au pied du talus. C'est d'abord (fig. 4) au-dessous des basses eaux moyennes sur 1 m. 75 de hauteur, une couche de 0 m. 20 de béton, de sable au dosage de 1 ciment pour 5 de sable établie en bandes successives sur un lit de sable de 0 m. 05 d'épaisseur. Ce béton a une résistance telle qu'on peut à peine l'entamer au pic. Vient ensuite à partir du niveau des basses eaux moyennes jusqu'à la hauteur moyenne des eaux, c'est-à-dire dans la zone où se font surtout sentir l'action des vagues, un perré en briques de 0 m. 25 de largeur posées par la petite face sur une couche de sable de 0 m. 10 d'épaisseur; enfin, au-dessus jusqu'au talus supérieur incliné à 5 pour 1, c'est un perré en briques de champ placé sur un lit de sable de 0 m. 25 et se raccordant par un arc de cercle de 2 mètres de rayon avec le talus supérieur. Quand il se produit des filtrations, on les étanche par les moyens ordinaires.

On a employé aussi les dispositifs représentés par les fig. 5 à 9 mises gracieusement à ma disposition pour le présent rapport par la commission impériale du canal.

Fig. 5. — Pavage de 0 m. 30 d'épaisseur établi sur un enrochement de 0 m. 10 à 0 m. 40.

Fig. 6. — Revêtement de 0 m. 20 en béton pour la partie inférieure, et pavage de 0 m. 25 sur lit de gravier et de débris de briques pour la partie supérieure.

Fig. 7. — Revêtement en pierrailles de la berme inférieure aux eaux moyennes, pavage au-dessus.

Fig. 8. — Enrochement jusqu'au niveau moyen de l'eau, perré au dessus.

Ffig. 9. — Comme au n° 8, mais avec enrochement de 0 m. 50 d'épaisseur et 1 m. 20 de large sur la berme inférieure.

Le prix de revient du mètre courant est élevé en raison de la cherté des pierres, il ressort

		fr.	fr.
Pour le type fig.	1.	à 56,12	à 62,25
—	2.	64,75	
—	3.	69,50	
—	4.	42,18	à 73,18
—	5.	50	
—	6.	53,12	à 62,50
—	7.	69,50	
—	8.	56,12	
—	9.	54,50	à 62,25

Dans tous les revêtements en pierre, on ménage des escaliers tous les 200 mètres.

3. Constructions mixtes.

Ces constructions, fréquemment employées, utilisent surtout en général le bois et la pierre, le bois étant réservé pour les parties immergées pour soutenir les constructions en pierre établies à la partie supérieure. On distingue deux sortes de berges : *a*, les berges verticales ou à faible talus et *b*, les berges à pente prononcée.

a. — BERGES VERTICALES OU PEU INCLINÉES

La paroi en bois enfoncée dans le talus et le plus souvent formée d'une ligne de palplanches, n'émerge que très peu, souvent de 0 m. 10 seulement, au-dessus du plan d'eau. On trouve fréquemment à cette hauteur une berme de 0 m. 50 à 1 m. 50 de largeur, parfois non consolidée, parfois pourvue d'un revêtement en pierre. Quand la berme n'existe pas, le talus est défendu au-dessus de l'eau jusqu'à une hauteur de 0 m. 40 à 0 m. 75 par un mur en briques avec fruit de $1/2$. On trouve notamment en Hollande beaucoup d'exemples de rives de canal ainsi protégées.

Canal Nord-Hollande.

Le revêtement en bois, avec fruit de $1/20$, a depuis le talus jusqu'à 0 m. 10 au-dessus du plan d'eau une hauteur de 1 m. 50 (pieux de 5 mètres avec 0 m. 15 \times 0 m. 14 d'équarrissage, palplanches de 2 m. 75 et 0 m. 04 d'épaisseur) et la partie libre entre le parement intérieur et le talus est remplie de débris de briques, ce qui donne, à la partie supérieure, une berme de 1 m. 30 de large que l'on abrite par un fort revêtement en pierre. Prix, 15 fr. 60. Si la berme est pavée, et que les pieux du revêtement en bois soient ancrés, la dépense s'élève à 15 fr. 60.

Zuid-Willemsvaart

Le revêtement en bois est formé de pieux non équarris de 1 m. 80 de long et 0 m. 12 de diamètre enfoncés de 1 mètre dans le talus et s'élevant verticalement jusqu'à 0 m. 15 au-dessus du plan d'eau; la berme, de

0 m. 60 de large, est protégée par un clayonnage chargé de cailloux. Prix, 5 fr. 17. Quand la paroi verticale émerge de 0 m. 50 et que, portant à 1 mètre de l'argenteur de la berme, on la consolide en établissant de chaque côté une file de pieux et en remplissant de pierre l'intervalle, le prix s'élève à 4 francs.

Damsterdiep.

La paroi de la berge est formée jusqu'au plan d'eau de palplanches de 2 mètres de long et 0 m. 07 d'épaisseur, avec une inclinaison de 2 pour 1, et recouvertes d'un chapeau. Au delà, la berge est défendue par un mur en briques de 0 m. 55 d'épaisseur et de même inclinaison. Prix, 8 fr. 55.

Quand on substitue aux palplanches des pieux non équarris de 0 m. 13, la dépense s'élève à 8 fr. 95.

Dans les deux cas il n'existe pas de berme et la partie supérieure du talus n'est pas consolidée.

Aa intérieure.

Un panneau formé de palplanches de 5 m. 50 de long sur 0 m. 07 d'épaisseur s'appuyant à l'inclinaison de 1 pour 2 sur des pieux de 5 m. 25 de long et 0 m. 19 d'équarrissage battus tous les 2 mètres, supporte un mur en briques de 1 m. 80 de haut et de l'épaisseur d'une brique, qui s'élève jusqu'au niveau des plus hautes eaux avec une pente de 1 pour 2 et est garni par derrière de briques cassées. Prix 51 fr. 66.

Canal de Finow (Allemagne).

Une construction analogue est employée sur le canal à la traversée des localités. Le mur en briques commence au niveau de l'eau et s'élève jusqu'au couronnement du chemin de halage. Cette disposition a donné de très bons résultats.

b. — BERGES A PENTE PRONONCÉE

Pour la consolidation des talus au-dessous et au-dessus de l'eau on se sert le plus souvent de moellons ou de briques. Parmi les constructions de ce genre, il y a lieu de citer les suivantes :

Canaux français.

(Voir Guillemain. *Navigations intérieures. Rivières et canaux*. Tome II, page 381. Paris. 1885.)

Le talus, incliné à 45 degrés, est protégé par un revêtement maçonné, en pierre ou en brique, de 0 m. 50 d'épaisseur, qui s'appuie sur une fondation en bois formée de pieux de 0 m. 14 d'épaisseur enfoncés tous les 0 m. 80 et reliés soit par un chapeau, soit par un cours de madriers. Le

revêtement maçonné a 0 m. 40 de hauteur et ne descend qu'à 0 m. 10 au-dessous du plan d'eau. Prix 9 à 12 francs.

Canal Nord-Hollande.

Le mur en briques, de l'épaisseur d'une brique, incliné à 2 pour 3 et s'élevant jusqu'à 0 m. 80 au-dessus du plan d'eau, repose sur un panneau presque vertical formé de palplanches de 0.035 d'épaisseur et 3 mètres de long. Prix, 13 fr. 10.

Canal de Walcheren (Hollande).

Le talus, pourvu d'une berme de 1 m. 10 de largeur, et incliné à 2 de base pour 1 de hauteur, est protégé par un pavage de 18 centimètres d'épaisseur avec fondation de pierres cassées établie sur une couche d'argile de 0 m. 30 d'épaisseur recouverte de planches. Au pied le pavé s'appuie sur un fort dallage formé de pierres de 0 m. 40 de longueur et 0 m. 30 de largeur; il commence à 0 m. 80 au-dessous du plan d'eau et s'élève jusqu'à 0 m. 70 au-dessus. Prix, 15 fr. 50.

Canal de Terneuzen (Hollande).

Les talus inclinés à 2 de base pour 1 de hauteur sont protégés sous l'eau seulement, mais jusqu'à 2 m. 25 de profondeur, par un pavage reposant sur deux rangs de planches, et consolidés par une rangée de pieux battus au pied du talus et 13 files de piquets enfoncés dans le talus parallèlement à l'axe du canal. La berme de 1 mètre de large qui existe au niveau du plan d'eau est plantée, le talus supérieur est seulement gazonné. Prix, 15 fr. 50.

Canal de Haneken (Allemagne).

Les revêtements établis à titre d'essai sur ce canal par M. l'ingénieur en chef Oppermann, conseiller d'Etat, et représentés par les fig. 10 à 17 que leur auteur a bien voulu mettre à ma disposition, ont été exécutés en vue de se rendre compte du procédé le plus convenable pour le canal en cours d'exécution de Dortmund à l'Ems. A ce titre les divers modes ont été appliqués sur des sections du canal; tous comportent un perré placé sur le talus à 5 pour 2, depuis 0 m. 50 à 0 m. 60 au-dessous du plan d'eau jusqu'à 0 m. 60 au-dessus, et s'appuyant sur une ligne de pieux et palplanches. Les prix donnés ci-après se réduiraient notablement dans le cas d'exécution en grand.

Sur la fig. 10, le talus est revêtu d'une double couche de mortier au dosage de 1 partie de ciment pour 5 de sable pour la couche supérieure et de 1 ciment pour 10 de sable pour la couche inférieure. Sur cette fondation s'élève un mur vertical en brique d'une épaisseur de brique. Prix, 17 fr. 36.

Fig. 11. — Même revêtement inférieur, mais en béton (1 partie de ci-

ment, 2 1/2 de sable et 5 de pierres cassées) avec 0 m. 20 d'épaisseur. Le béton repose sur une couche de pierrailles de 0 m. 10. Prix, 18 fr. 59.

Fig. 12 à 14. -- On a remplacé le béton par une maçonnerie de brique et de ciment.

Prix pour la fig..		fr.
12.	. . . . .	18,88
—	13.	17,26
—	14.	22,19

Fig. 15. — Pavage en moellon de 0 m. 20 à 0 m. 25 sur pierrailles. Prix, 21 fr. 60.

Fig. 16 et 17. — Le talus est garni dans sa partie supérieure d'une chape de ciment de 0 m. 09. Prix, 11 fr. 44.

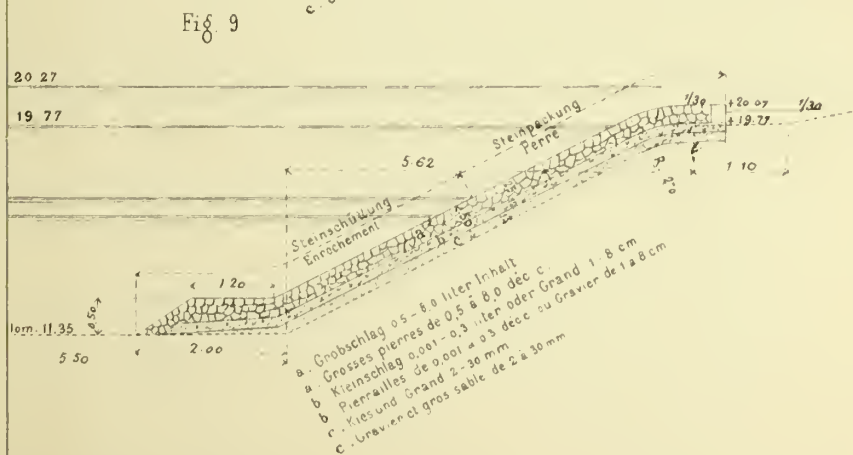
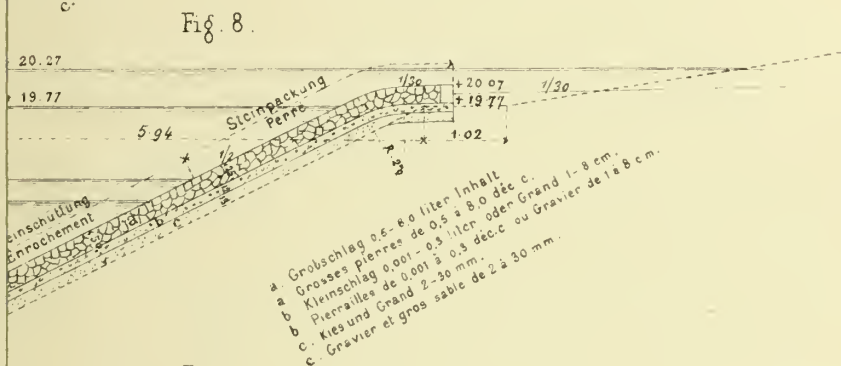
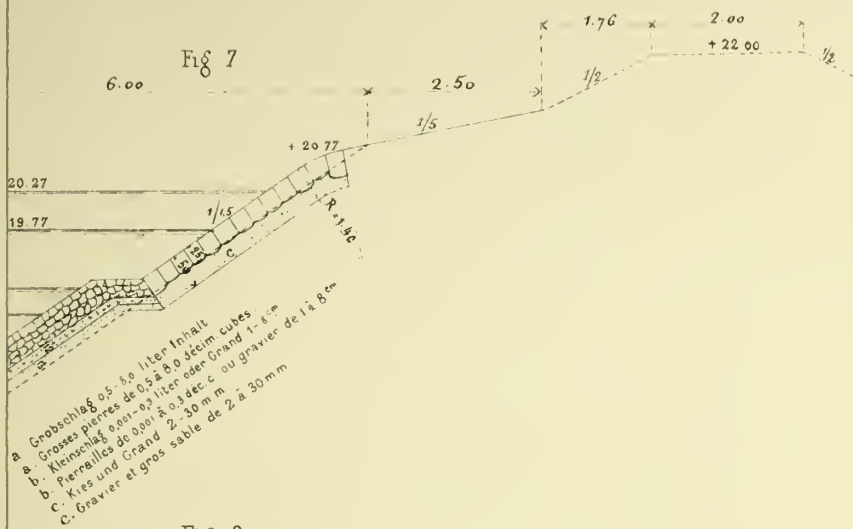
On voit que si les chapes en ciment se comportent bien, on devra leur donner la préférence en raison de leur prix moins élevé.

Comme conclusion de ce qui précède et notamment des considérations exprimées au chapitre I^{er} sur la forme à donner au profil transversal des canaux, l'auteur a l'honneur de soumettre au Congrès les types de défense des berges représentées sur les figures 18 et 19 avec parois presque verticales.

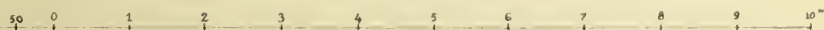
D'après l'expérience acquise en Hollande pour des constructions analogues faites sur des canaux intérieurs, on peut admettre que l'établissement de ces types de défense entraînerait une dépense variant, selon la valeur des matériaux, de 11 fr. 25 à 15 fr. pour les canaux intérieurs et de 22 fr. 50 à 25 fr. pour les canaux maritimes, et que leur construction ne donnerait lieu à aucune difficulté spéciale, même sur les canaux existant déjà.

Berlin (Charlottenbourg), 15 février 1892.

Traduit par M. Férét, Paris.



Echelle : $\frac{1}{100}$



Uferbefestigung am Nord-Ostsee Canal. (Consolidation des Berges sur le Canal de la Mer du Nord à la Baltique.)

Fig. 1

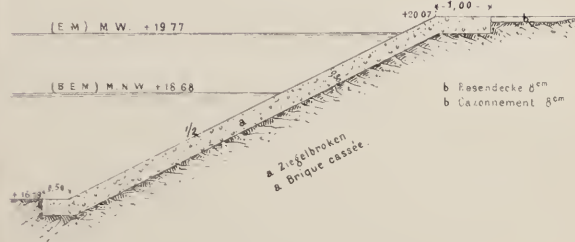


Fig. 2

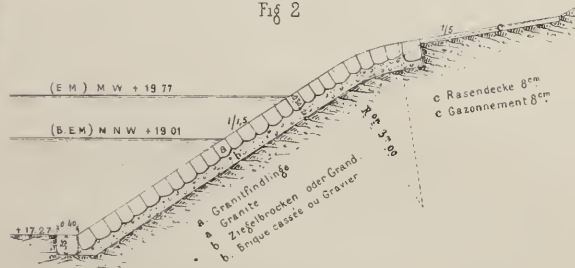
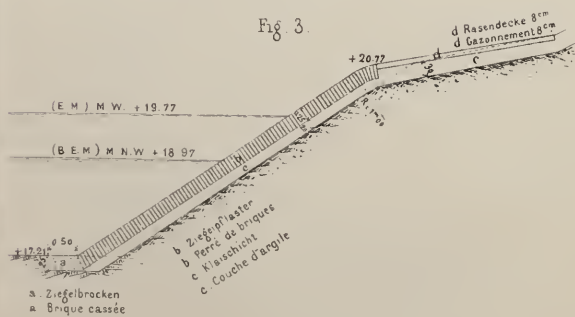


Fig. 3



N.B. Die eingeschriebenen Höhenzahlen
beziehen sich auf eine 20^m unter
Normalnull liegende Horizontale.

Fig. 4

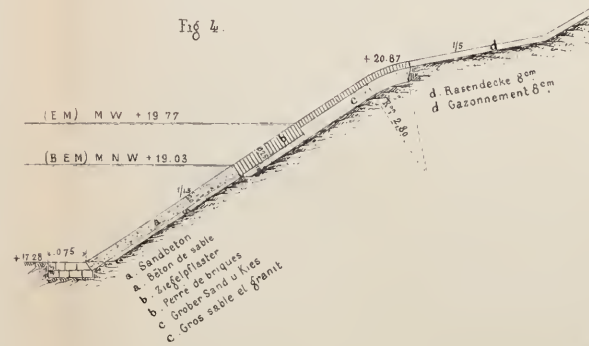


Fig. 5

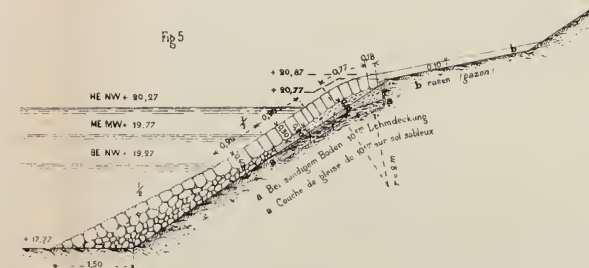


Fig. 6



(Les cotes inscrites se rapportent
à une horizontale placée à 20^m00
au-dessous du zéro normal.)

Fig. 7

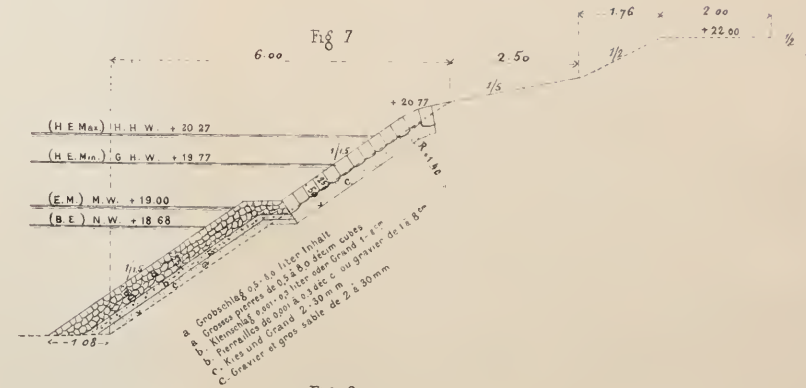


Fig. 8

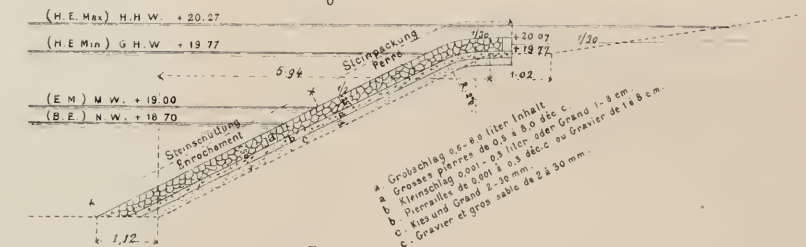
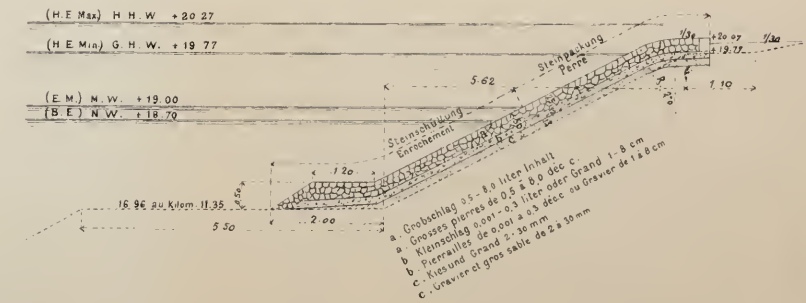


Fig. 9



Echelle: 1/100

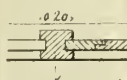


Fig. 18. F
(pour ca

(Niveau on
Gewöhnlicher
(Plus bass
Niedr

100

d du canal)
uple



Ma

Für
(Pour

1^m

Für die
ur les plans

2

3

Uferbefestigungen am Hanekenkanal. (Consolidation des berges sur le canal de Haneken).

Fig. 10'.

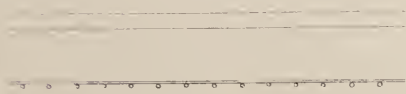


Fig. 11'.

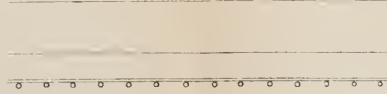


Fig. 12'.



Fig. 10.

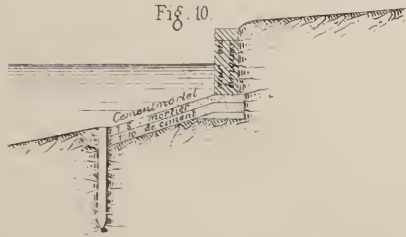


Fig. 11.

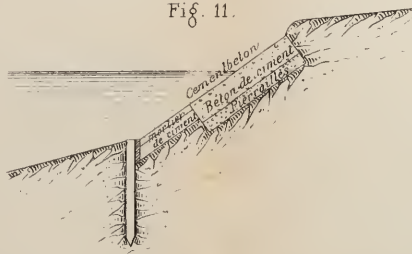


Fig. 12.

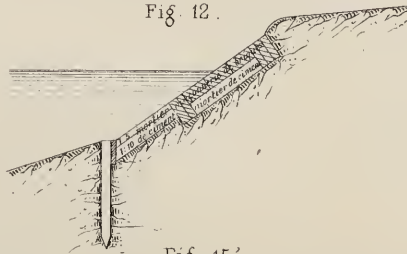


Fig. 13'.

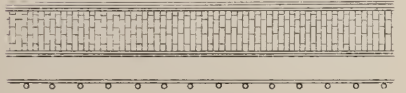


Fig. 14'.

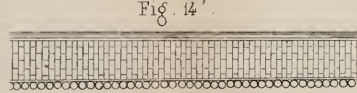


Fig. 15'.



Fig. 13.

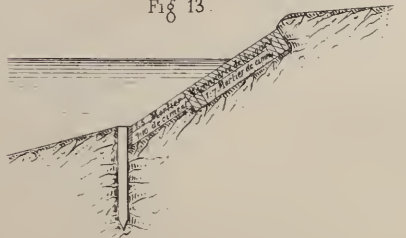


Fig. 14.

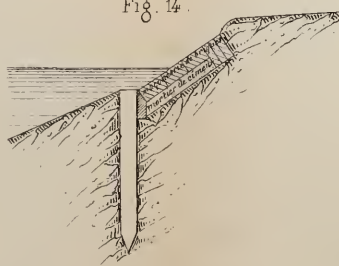


Fig. 15.

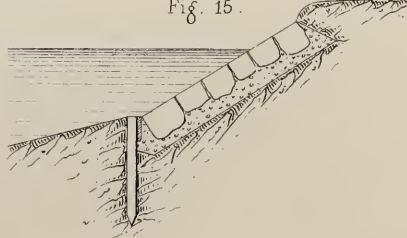


Fig. 16.
(Plaques de ciment)
Cementplatten.

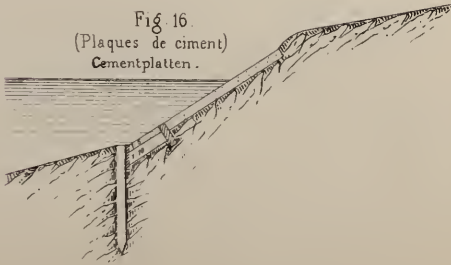
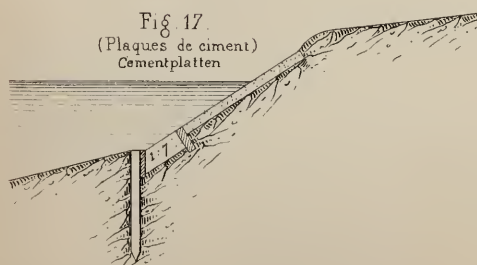


Fig. 17.
(Plaques de ciment)
Cementplatten.



Projekt zur Uferbefestigung. (Projet de consolidation de berges).

Fig. 18. Für Binnencanäle.
(pour canaux intérieurs).

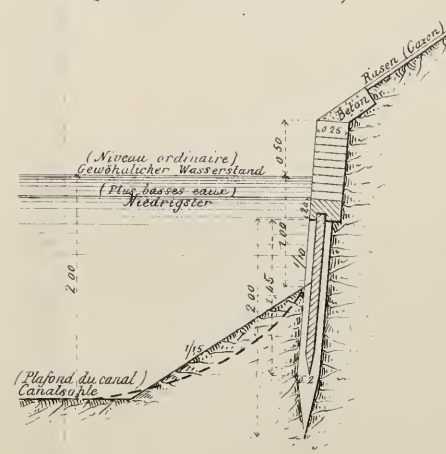


Fig. 19. Für Seecanäle. (Pour canaux maritimes).

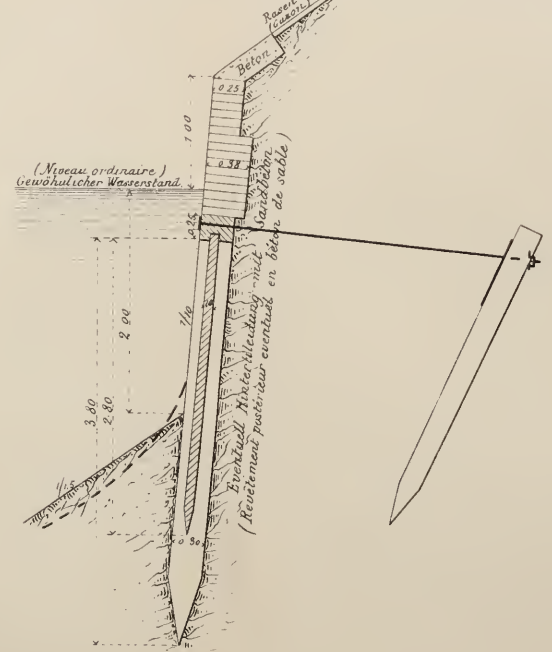
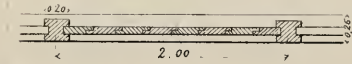


Fig. 18'.



Maassstäbe. (Echelles).

Für die Querschnitte. } $\frac{1}{50}$
(Pour les profils en travers)



Für die Längen (fig. 10' bis 15') } $\frac{1}{100}$
Pour les plans longitudinaux (fig. 10' à 15')

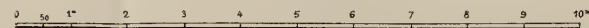
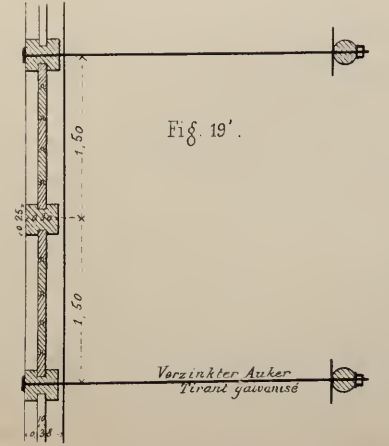


Fig. 19'.



24837. — PARIS, IMPRIMERIE LAHURE
9, rue de Fleurus, 9

V^{ème} CONGRÈS INTERNATIONAL DE NAVIGATION INTÉRIEURE
PARIS 1892

1^{ère} QUESTION

CONSOLIDATION
DES
BERGES DES CANAUX
DANS LA RÉGION DU NORD DE LA FRANCE

RAPPORT

PAR

M. PESLIN

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Douai

PARIS

IMPRIMERIE GÉNÉRALE LAHURE

9, RUE DE FLEURUS, 9

1892

CONSOLIDATION DES BERGES DES CANAUX

DANS

LA RÉGION DU NORD DE LA FRANCE

RAPPORT

PAR

M. PESLIN

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées à Douai.

Le réseau de canaux qui existe dans le nord de la France remonte, au moins pour les principales artères, à une époque très ancienne. Il desservait au ^{xiii}^e siècle, et certainement à une époque très antérieure, un trafic important. La configuration du pays, son régime hydraulique, ont créé pour ses habitants d'impérieuses nécessités, mais aussi de grandes facilités pour l'établissement de ce réseau. Dans la plaine maritime (Calais-Saint-Omer-Dunkerque), le cultivateur, pour tirer parti du sol, tant au point de vue de sa culture que de l'enlèvement des produits, a dû le sillonner de nombreuses rigoles dès les temps les plus reculés et y faire circuler de petits bateaux.

Jusqu'au ^{xix}^e siècle, je pourrais même dire, jusqu'à la moitié du ^{xix}^e siècle, la nécessité de défendre les berges de ces canaux par des travaux offrant de sérieuses garanties de durée, et par suite assez dispendieux, ne s'était pas encore présentée aux ingénieurs chargés de l'entretien du réseau.

Quoique le sol offrit en général fort peu de consistance (le sable fin plus ou moins argileux y domine presque partout), il suffisait, le plus souvent, pour assurer le maintien des berges, de planter ou de laisser pousser à la ligne d'eau des végétaux aquatiques et particulièrement une certaine espèce de roseaux qui existe naturellement depuis un temps immémorial sur plusieurs canaux du pays.

Encore actuellement, sur d'assez grandes longueurs de nos voies navigables, sur certaines parties de la Lys, de la Searpe, de la Lawe, des canaux d'Hazebronck, de Calais, de la Colne, etc., les végétaux suffisent à peu près pour défendre les berges contre les dégradations provenant des bateaux et des bateliers. Ces roseaux poussent même si vigoureusement

sur certains points qu'ils deviennent gênants. Ils empiètent sur le lit, provoquent des atterrissements et diminuent la section libre d'une façon fâcheuse. Il faut alors périodiquement rendre au profil en travers sa largeur réglementaire par des dragages de terre végétale mêlée de racines qui ne laissent pas que d'être assez pénibles et assez coûteux. Malgré cet inconvénient, je suis d'avis que la défense des berges des voies navigables par des végétaux vivants constitue le mode de beaucoup le plus pratique et le plus économique, quand les circonstances permettent de l'employer efficacement.

Le second procédé, employé aussi depuis longtemps, sur les canaux et rivières navigables du nord de la France, pour la défense des berges, consiste à y établir des tunages ou fascinages composés essentiellement de pieux de petites dimensions, battus en files régulières, dans les talus, aux environs de la ligne de la flottaison, et reliés en tête par un ou plusieurs cours de fascines ou de planches placées horizontalement.

Les dessins n^{os} 1, 2, 3 et 4 indiquent les principaux types de tunage en usage actuellement dans notre service. Nous allons les décrire successivement.

Tunage N° 1.

Ce tunage, qui s'appelle également fascinage, se compose d'une file de pieux en chêne espacés de 0^m,80 d'axe en axe. Le cahier des charges prévoit trois classes de pieux. Ceux de première classe ont 4^m,50 de longueur et 0^m,20 de diamètre, ils coûtent en moyenne 9 fr. 50 mis en place. Ceux de seconde classe ont 3^m,50 de longueur et 0^m,17 de diamètre ; ils coûtent 4 fr. 50 battage compris. Ceux de troisième classe ont 2^m,50 de longueur et 0^m,14 de diamètre ; ils ne coûtent que 2 fr. 25. Tous ces pieux sont en chêne, mais on en emploie aussi quelquefois de plus petits, en bois de qualité inférieure, qui ne coûtent que 1 fr. 50.

Les ingénieurs déterminent, dans chaque cas particulier et suivant la nature du sol, la classe des pieux à employer. Dans la très grande majorité des cas, ce sont les pieux de troisième classe qu'on emploie. D'abord ils coûtent beaucoup moins cher et puis ils peuvent souvent se battre à la masse, tandis que les autres nécessitent pour leur enfoncement l'emploi d'une sonnette.

Comme on le voit sur le profil en travers, ces pieux sont enfoncés exactement à la ligne d'eau et recepés à 0^m,15 au-dessus du niveau habituel de navigation. Derrière la tête des pieux, on pose des fascines de 0^m,25 à 0^m,50 de diamètre, et aussi longues que possible (2 à 4 mètres). Ces fascines sont faites autant qu'on le peut, par raison d'économie, avec les branches provenant de l'élagage des arbres qui bordent la voie navigable ; ce sont souvent, dans la région du Nord, des peupliers du Canada. Autour des fascines on pilonne de la terre végétale et on refait le talus normal en arrière.

Dans les conditions les plus favorables, nous arrivons à faire ces fascina- ges à raison de 2 francs le mètre courant, c'est le minimum. La princi- pale dépense est celle des pieux, 1 fr. 50. Quand le travail est bien fait, les pieux bien alignés, les fascines bien calibrées, les terres bien pilonnées et les talus bien réglés, l'aspect général est très satisfaisant, mais les fascines en bois blanc pourrissent rapidement et doivent être renouvelées tous les quatre ou cinq ans. Les têtes de pieux pourrissent également très vite, à cause des alternances d'humidité et de sécheresse provenant des petites variations incessantes du niveau de l'eau. Bref, la durée de ces défenses est très courte et les frais d'entretien au bout de peu de temps sont consi- dérables.

Quand on emploie comme pieux de petits chèneaux de 2^m,50 de longueur et de 0^m,14 de diamètre, ils durent beaucoup plus longtemps, mais la dépense s'élève de 50 pour 100 (3 francs le mètre courant au lieu de 2 francs). Elle serait encore plus forte si l'on employait des pieux de deuxième et surtout de première catégorie.

Tunage N^{os} 2 et 3.

Un second type de tunage est celui qui est représenté dans les figures n^{os} 2 et 5.

Dans le type n^o 2, les pieux sont identiques à ceux des fascina- ges précédents décrits et battus de la même façon. Mais les fascines sont remplacées par des planches posées horizontalement de champ derrière les pieux et fixées solidement sur chacun d'eux par deux clous de 0^m,12 de longueur à forte tête.

Autrefois, on employait beaucoup, pour cet usage, de vieilles planches en chêne provenant de la démolition des bateaux hors de service. Elles coûtaient à pied d'œuvre, sans la pose, environ 0 fr. 75 le mètre courant et avaient 0^m,02 à 0^m,05 d'épaisseur sur 0^m,20 à 0^m,25 de largeur. Mais depuis que les défenses de berges se sont multipliées sur nos canaux, on ne trouve plus une quantité suffisante de ces planches et nous sommes obligés de prendre des madriers en sapin du Nord, de 0^m,05 d'épaisseur et de 0^m,25 de largeur, qui coûtent un peu plus cher et qui ont une durée beaucoup moins grande.

Les pieux et les planches mis en place, il faut remblayer et refaire les talus en arrière. Dans la plaine maritime, où les roseaux poussent facile- ment, on emploie le type n^o 2 ; on remblaie avec de la terre végétale prise dans le talus et on pose à plat une couche de roseaux coupés à 0^m,25 environ de longueur, débordant de 0^m,05 sur la ligne des planches et un peu inclinés à l'arrière.

Sur les autres canaux, dans les régions où les roseaux poussent moins bien, on remblaie derrière les planches avec ce qu'on appelle dans le Nord des briquaillons. Ce sont des déchets de briqueteries, incuits, etc., gros-

sièrement cassés de façon à ce que les morceaux n'aient pas plus de 0^m,06 à 0^m,08.

J'ai prescrit, depuis trois ou quatre ans, une légère variante de tunage précédent. Au lieu d'araser les pieux et par suite les planches à 0^m,15 au-dessus du niveau habituel des eaux, ce qui, comme je l'ai indiqué plus haut, est la principale cause de la pourriture du bois et du peu de durée du travail, j'ai fait enfoncer les pieux et les planches jusqu'à ce niveau et j'ai disposé la couche de briquillons comme il est indiqué au dessin n° 4. L'augmentation de dépenses est insignifiante, et je compte que les bois étant constamment noyés se conserveront beaucoup plus longtemps.

Par contre, le pied du talus est moins bien défendu contre le batillement de l'eau et contre les vagues produites par le passage des bateaux à marche rapide, et je m'attends à avoir de temps en temps une petite dépense de réfection du massif de briquillons formant ce pied de talus.

Les prix de revient de ces trois espèces de tunages varient de 5 fr. 50 à 4 fr. 50, soit 4 francs en moyenne le mètre courant. Dans ces prix les pieux entrent pour 2 fr. 25 environ (pieux en chêne de 5^e classe), les planches 1 franc et les briquillons 0 fr. 50 (ils coûtent environ 4 francs le mètre cube à pied-d'œuvre).

Nous avons souvent employé, à la place de briquillons, des déchets de chantiers, tels qu'éclats de grès ou de pierres, vieilles briques, etc.

Le résultat a été aussi bon. Ce qu'il faut, c'est que les morceaux les plus gros soient placés au-dessus ou en avant des autres et bien pilonnés pour résister à l'eau le mieux possible.

Perrés de flottaison.

Les tunages dont nous venons de décrire les types principaux en usage dans le service des Voies navigables du Nord et du Pas-de-Calais ont une durée forcément limitée, surtout pour la partie située au-dessus du niveau d'étiage, parce que, comme tous les ingénieurs de navigation le savent, les ouvrages en bois soumis à des alternances fréquentes d'humidité et de sécheresse périssent promptement.

De plus, ces tunages ne protègent les talus que sur une très faible hauteur, 0^m,15 à 0^m,20. Cela peut suffire pour les voies navigables à fréquentation modérée (4 à 500 000 tonnes par an), dont les berges peu détériorées par les gaffes des marinières peuvent se garnir de gazon, et qui reçoivent peu de bateaux à vapeur. Mais sur les voies navigables, et elles sont nombreuses dans notre région, dont le trafic dépasse un demi-million de tonnes (nous en avons dont le trafic s'échelonne entre 1 et 5 millions), sur celles qui sont sujettes à des crues à allures rapides ou qui sont fréquentées par de nombreux bateaux à vapeur, les tunages sont absolument insuffisants et il a fallu songer depuis un certain temps à faire des

défenses de berges plus résistantes, plus étendues en hauteur et plus durables.

Sur ces voies, nous établissons des perrés, soit maçonnés, soit à pierres sèches. Ces perrés sont de deux natures : les perrés de fond et les perrés de flottaison.

Les premiers, qui coûtent fort cher le mètre courant, ne s'emploient que sur de petites longueurs aux abords des ouvrages d'art et très exceptionnellement en plein bief. Les perrés de flottaison, au contraire, sont d'un usage général et nous en avons maintenant presque d'un bout à l'autre de toutes nos lignes à grand trafic et sur les deux rives.

Ces perrés sont généralement assis sur la banquette qui se forme naturellement à 15 ou 20 centimètres au-dessous de l'étiage, par suite de l'action continue des bateaux vides dont le fond vient frotter et mordre sur le talus. On commence par battre à la ligne d'eau une file de pieux de 1^{re}, 2^e ou 3^e catégorie (le plus souvent de cette dernière), espacés de 0^m,80 exactement comme pour un tunage, seulement on les recèpe au niveau de la banquette précitée; de cette façon ils sont constamment noyés et les bois se conservent bien. On taille la tête de ces pieux suivant un plan incliné à 45°, comme cela est indiqué sur les dessins, et on garnit cette tête d'une pièce de sapin dite battens, de 18 centimètres de largeur sur 6 1/2 d'épaisseur. Les sapins de Norvège arrivent couramment en pièces débitées de cette dimension dans les ports de Calais et de Dunkerque.

En arrière des pieux et en dessous des battens, on cloue verticalement la planche de 25 × 5 usitée pour les tunages et qui a pour but de maintenir le pied du talus remanié. Cela fait, on pilonne une bonne couche de briquaillons de 15 à 20 centimètres d'épaisseur, puis on construit le perré proprement dit en maçonnerie, soit à pierres sèches, soit à bain de mortier.

Notre région est fort pauvre en bonnes pierres à bâtir. Le sous-sol est partout ou presque partout constitué par un banc très épais de craie tendre, absolument gélive et impropre aux constructions. C'est en Belgique que sont situées les carrières de bonne pierre les plus rapprochées de nos canaux. On y trouve, notamment aux environs de Tournai, des calcaires durs, non gélifs, qui se débitent facilement en moellons bruts ou en moellons d'assises et qu'on a pu obtenir jusqu'à ce jour à des prix raisonnables. En dehors de ces matériaux, il n'y a que la brique du pays qui est employée d'une façon générale pour toutes les constructions. Cette brique (22 × 11 × 6), moulée à la main et cuite en plein air, se vend couramment de 15 à 18 francs le 1000; les transports sont peu onéreux parce qu'on en trouve un peu partout, et le mètre cube de bonne maçonnerie de chaux hydraulique ne revient pas dans ces conditions à plus de 20 ou 22 francs.

M. Bertin, inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, qui a été pendant de longues années ingénieur ordinaire, puis ingénieur en chef

de la navigation, à Douai, était très partisan des perrés en moellons d'assise de Tournai, posés à pierre sèche. De très grandes longueurs de perrés de ce type ont été établies sous sa direction, tant par lui que par ses successeurs, et ils ont donné jusqu'à ce jour d'excellents résultats.

Le profil en est indiqué sous le n° 5 de la feuille de dessin annexée à la présente notice.

Les moellons ne sont qu'ébauchés, mais les faces de lits doivent être cependant bien dressées, car la solidité de l'ouvrage en dépend absolument. Ils ont 14 centimètres d'épaisseur et 30 centimètres de queue. Quant à leur longueur, elle est variable, mais il est bon qu'elle ne soit pas inférieure à 0^m,60, car il faut que chaque moellon ait une certaine masse par lui-même afin de pouvoir résister aux coups de gaffe des mariniers. Cette longueur est communément de 0^m,75. Ces moellons coûtent une vingtaine de francs le mètre cube, rendus à pied-d'œuvre, et le perré terminé (0^m,30 d'épaisseur) revient à 7 francs le mètre carré.

Sur les voies navigables où le niveau d'eau est peu variable, ce qui est le cas le plus général dans notre service, on met seulement 4 assises de moellons dont la première est sous l'eau, au niveau de l'étiage, et les trois autres au-dessus. L'expérience a prouvé que cela était suffisant.

Le mètre courant de perré de flottaison, établi dans ces conditions, revient moyennement à 10 francs.

Les frais d'entretien sont insignifiants pendant les cinq ou six premières années, et l'aspect très satisfaisant; l'herbe pousse dans les joints des moellons et l'on se garde de l'arracher, parce qu'on a reconnu que les racines consolidaient le perré au lieu de l'affaiblir, comme on le croit généralement.

Après cinq à six ans, et surtout après dix ou douze, on est obligé, chaque année, de remplacer un certain nombre de moellons qui ont été brisés par les coups de gaffe ou par la gelée; mais ce nombre est très petit, moins de 1 pour 100 certainement.

Certains moellons ont été arrachés et on les retrouve au fond du canal (ou on ne les retrouve pas).

D'autres, en plus grand nombre, sont simplement dérangés de leur place et il suffit de les replacer.

En résumé, les frais d'entretien sont assez modiques et se bornent à des travaux de main-d'œuvre. Quand le travail a été bien fait et que les matériaux employés, bois et pierres, sont de bonne qualité, ce type de perré de flottaison donne d'excellents résultats et nous n'hésitons pas à le recommander.

Quand il est nécessaire de défendre le talus sur une plus grande hauteur, soit à cause des crues, soit pour tout autre motif, on augmente la hauteur du perré en ajoutant autant d'assises supplémentaires de moellons que cela est utile. Ainsi, sur la Scarpe Inférieure, les premiers biefs, en partant de

Douai, sont à 4 assises de moellons, les suivants à 6 assises et les derniers, aux abords du confluent dans l'Escaut, à 8 assises.

Chacune de ces assises supplémentaires ayant 0^m,14 de hauteur suivant le talus réglé à 45° ou 0^m,10 de hauteur verticale, augmente le prix total de 1 franc environ par mètre courant.

Nous avons essayé, sur un certain nombre de points, de faire des perrés de flottaison offrant les mêmes dispositions que celles du type que nous venons de décrire, mais en remplaçant les moellons d'assise posés à pierre sèche par de la maçonnerie à bain de mortier faite avec des moellons de Tournai bruts ou avec de bonnes briques du pays. Le mortier est composé de un tiers de chaux hydraulique en poudre, un tiers de sable et un tiers de cendres de houille finement tamisées. (C'est le mortier que nous employons couramment dans nos travaux.) Le prix de revient des perrés a été sensiblement le même et le résultat jusqu'à ce jour absolument satisfaisant.

Je dirai même que l'entretien est encore plus faible avec ce type qu'avec le précédent et l'aspect plus propre. L'herbe, en effet, ne peut pas pousser dans les joints et les matériaux constitutifs du perré (moellons bruts ou briques) ne peuvent pas se déplacer les uns par rapport aux autres. On avait craint d'abord que les coups de gaffe des mariniers ne fissent sauter au bout de peu de temps les briques les moins dures. Cela n'a pas eu lieu, et voici pourquoi : les gaffes glissent sur la surface unie des perrés maçonnés, et les mariniers préfèrent *bouter* dans le talus en terre au-dessus ou au-dessous. Au contraire, la gaffe prend bien dans les joints du perré à pierres sèches et il en résulte de fréquents déplacements des moellons.

Sur quelques kilomètres de la Haute-Deûle nous avons fait, en 1880, des perrés de flottaison en briques maçonnées ayant 22 centimètres d'épaisseur seulement (au lieu de 30). Ils ont coûté 9 francs le mètre courant et se sont très bien maintenus depuis cette époque; les frais d'entretien ont été nuls. Cependant la fréquentation est considérable, environ deux millions de tonnes.

Sur le canal de Bourbourg, qui aboutit au port de Dunkerque et qui donne passage à un peu plus d'un million de tonnes, on a fait, il y a une dizaine d'années, des perrés de flottaison en maçonnerie de moellons bruts de Cherbourg (ces moellons arrivent en grande quantité par mer à Dunkerque pour les travaux du port).

L'inclinaison de ces perrés a été portée à 3 de hauteur pour 1 de base, ce qui en faisait de véritables muretins. Leur épaisseur moyenne était de 30 centimètres et la fondation identique à celle indiquée plus haut, sauf que la couche de briquillons était remplacée par une couche de menue marne, dite caplein dans le pays. La hauteur était de 0^m,80 et le prix de 11 fr. 50.

L'aspect général est très satisfaisant et les frais d'entretien ont été à peu près nuls jusqu'à ce jour.

Les perrés de flottaison que nous venons de décrire sont tous fondés à une certaine profondeur sous le niveau d'étiage et l'on peut se demander comment nous établissons ces fondations sous l'eau. Sur les canaux neufs, nous construisons les perrés en même temps que le reste du canal et avant sa mise en eau ; il n'y a donc pas de frais spéciaux à compter.

Sur les canaux existants, nous profitons le plus possible des chômages nécessités par les autres travaux. Une baisse d'eau de 0^m,50 à 0^m,40 suffit très largement pour pouvoir établir commodément et sans aucuns frais la fondation d'un perré de flottaison.

Quand on n'a pas de chômage, ce qui devient le cas le plus général dans notre service, il faut se résoudre à faire un petit batardeau parallèle à l'axe du canal et s'appuyant précisément sur la banquette en terre dont nous avons parlé plus haut. Nos bordereaux de prix d'entretien comptent 1 fr. 50 du mètre courant pour ce petit batardeau. Cela ne coûte pas plus en général, car il suffit de maintenir un petit bourrelet d'argile au moyen d'une ou deux planches placées de champ et maintenues par quelques piquets.

Un entrepreneur de Dunkerque, M. Reybaud, a inventé un batardeau mobile formé de feuilles de tôle maintenues verticalement par des piquets métalliques auxquels elles sont reliées par un joint étanche en caoutchouc. Ce système est très commode et très économique. Nous l'avons employé avec un plein succès pour de grandes longueurs de perrés de flottaison et son prix de revient, amortissement compris, ne dépasse guère 1 franc.

Pierres à trous de gaffes.

Il arrive quelquefois que sur des sections de voies navigables à très grande fréquentation la partie des berges non défendue par des perrés est tellement bouleversée par les coups de gaffe incessants des marinières qu'elle s'éboule continuellement dans le canal. Cet inconvénient se présente surtout sur les sections où le halage se fait par rames ou convois de bateaux trainés par des toueurs à vapeur, et il est particulièrement accusé dans les courbes convexes. On comprend, en effet, qu'un bateau de 58^m50, chargé de 500 tonnes de marchandises et faisant partie d'un convoi ayant plusieurs centaines de mètres de longueur, offre une grande résistance pour se plier aux inflexions souvent très prononcées d'un canal et que, pour éviter un accostage très dangereux, le marinier soit obligé de s'arc-bouter sur la berge avec une énorme gaffe en y faisant un trou qui a quelquefois près d'un mètre de diamètre et 0^m50 de profondeur.

Pour éviter cet inconvénient, nous avons essayé depuis deux ou trois ans d'implanter dans les talus, au-dessus des perrés de flottaison, ce que nous appelons des pierres à trous de gaffe.

Ce sont des blocs grossièrement ébauchés de pierre de Tournai, ayant

environ 0^m,50 de tous sens, dont le parement posé dans le plan du talus normal de la berge offre une cavité de forme hémisphérique grossièrement taillée d'environ 0^m,20 de diamètre, offrant un excellent point d'appui aux outils des marinières.

Ces pierres toutes posées nous reviennent à 10 francs pièce.

Nous n'en avons placé jusqu'à ce jour que sur les points où les dégradations sont incessantes et profondes. Nous espaçons ces pierres de 10 mètres environ d'axe en axe et nous les plaçons immédiatement au-dessus des perrés de flottaison. Ce travail nous a donné jusqu'à ce jour de bons résultats et paraît très apprécié de la batellerie.

Cap ein.

En terminant cette courte notice sur les procédés employés dans notre service comme défenses de berges, nous croyons utile de dire quelques mots de l'emploi du caplein qui tend à se généraliser de plus en plus et qui, dans beaucoup de cas, nous a procuré la solution la plus pratique et la plus économique de grosses difficultés.

On appelle caplein dans la région du Nord, et plus particulièrement dans la plaine maritime, la craie tendre par petits morceaux depuis la grosseur d'un grain de blé jusqu'à celle d'une pomme. On désigne aussi cette matière sous le nom de marne ou de menue marne. Sa valeur vénale sur les lieux d'origine est à peu près nulle; elle ne coûte guère que le chargement, le transport et sa mise en œuvre. Elle constitue le déchet des carrières de craie exploitées pour la fabrication de la chaux grasse et pour la sucrerie. Si l'on n'a pas une de ces carrières à proximité, il suffit de faire un tron dans un monticule quelconque pour y trouver presque à coup sûr la marne ou le caplein à une très faible profondeur. Cette matière est employée depuis longues années par l'agriculture pour amender et ameublir les terres trop compactes, trop argileuses et trop froides.

Le caplein est trop gélif, et, quand il passe un hiver à l'air, il tourne en bouillie blanche; mais, employé en remblai sous l'eau, il ne tarde pas à former avec le sable fin provenant de l'érosion des berges et la vase un conglomérat très dur et très compact résistant au courant et se maintenant parfaitement sous l'inclinaison de 2 de base pour 1 de hauteur qui est celle des talus de tous nos canaux.

Cette propriété nous rend le caplein très précieux pour la réparation des éboulements sous l'eau qui sont si fréquents dans notre région, surtout dans les terrains où dominent ce qu'on appelle les sables bouillants.

Rien n'est plus difficile que de maintenir un canal ouvert en tranchée un peu profonde dans ces terrains. A la suite des pluies, du dégel, ou bien quand on commet l'imprudence de baisser notablement le plan d'eau

pour des travaux de chômage, il se produit des mouvements généraux du sol, les défenses de berges les plus solidement établies se disloquent, les pieux se rabattent vers l'axe de la voie navigable, et quand on vient avec une drague pour enlever les atterrissements et rendre au canal son profil, les mouvements se continuent et s'accroissent même de plus en plus. Le meilleur moyen de remédier à ces graves désordres consiste à remplacer la terre molle au fur et à mesure de son enlèvement par un bon massif de caplein. C'est ce que nous faisons journellement pour refaire les petits éboulements de talus sous l'eau qui amènent le déchaussement des pieux de défenses de berges et compromettent gravement la solidité des perrés de flottaison.

Résumé.

Les défenses des berges en usage sur les canaux du nord de la France peuvent se classer dans les catégories suivantes :

1° *Végétaux vivants*. — Roseaux, etc. Applicables dans certaines contrées seulement et sur les voies à faible fréquentation.

2° *Fascinages*. — Petits pieux espacés de 0^m,80 battus à la masse suivant la ligne de flottaison et garnis en arrière d'un ou de plusieurs cours de fascines provenant, autant que possible, de l'élagage des arbres du canal. Prix de revient : 2 à 3 francs le mètre courant.

Durée très limitée. Peu de résistance.

3° *Tunages*. — Analogues au système précédent, mais les fascines sont remplacées par des planches 3/25 clouées sur les pieux du côté des terres. Derrière ces planches on pilonne des briquillons.

Prix de revient : 4 francs le mètre.

En recevant les pieux au niveau d'étiage et augmentant la couche de briquillons, on obtient un tunage qui dure plus longtemps, mais demande un peu plus d'entretien.

4° *Perrés de flottaison de 0^m,30 d'épaisseur en moellons d'assises de Tournai*. — Employés d'une façon générale sur les voies navigables de grande fréquentation.

Prix de revient, pour le perré à 4 assises de moellons, environ 10 francs.

Entretien peu important surtout dans les premières années. Bonne résistance, grande durée. C'est le type le plus répandu.

5° *Perrés de flottaison en maçonnerie de briques ou de moellons bruts (0^m,30 d'épaisseur)*.

Un peu plus chers que les précédents : 11 fr. 50 environ. Entretien nul jusqu'à ce jour. Très bon aspect.

On peut augmenter leur inclinaison et en faire des muretins de soutènement, ce qui fait gagner un peu de terrain.

En les faisant en briques de 0^m,22 d'épaisseur seulement, ils reviennent à 4 francs le mètre et paraissent très suffisamment résistants.

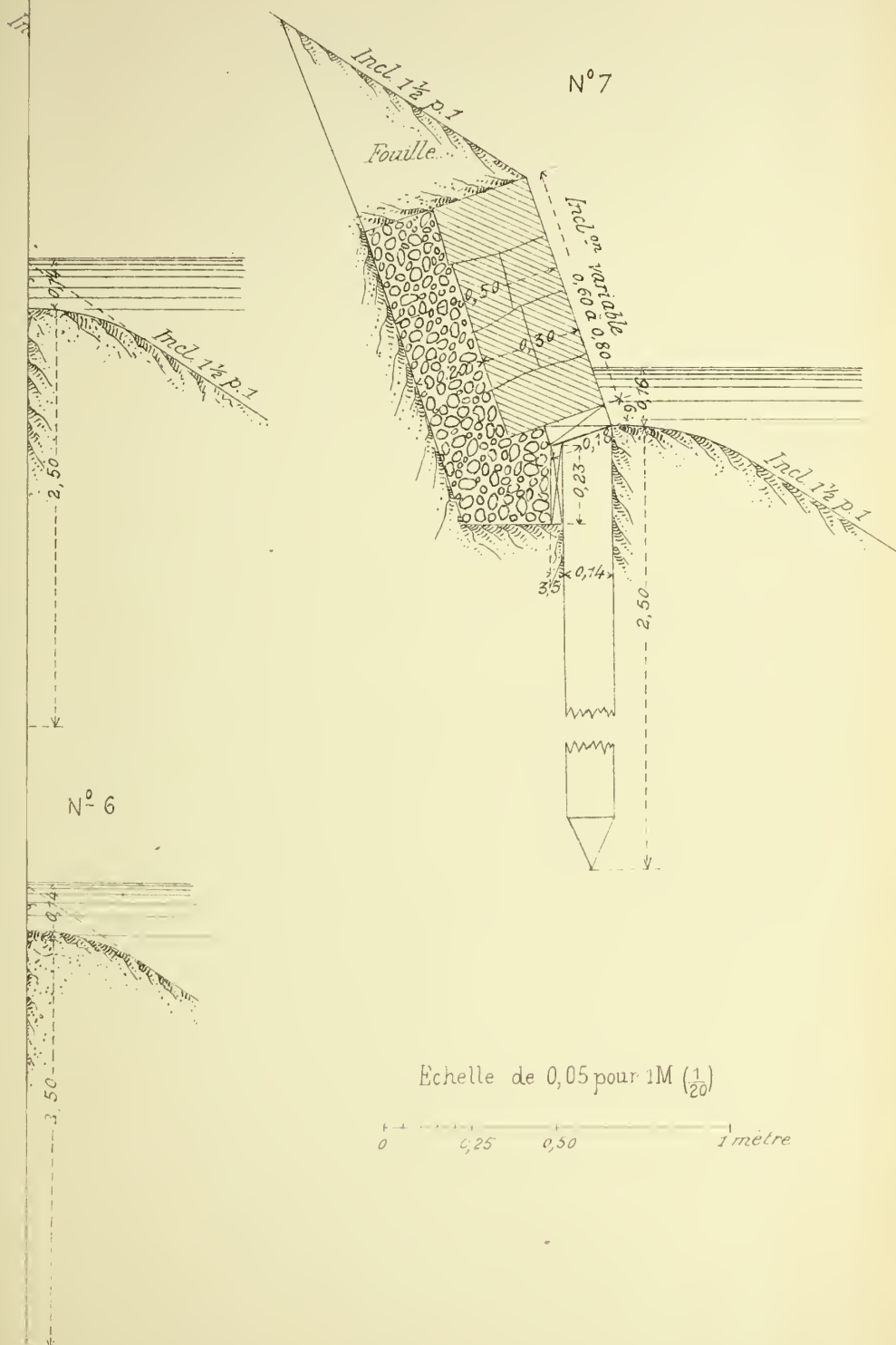
6° *Fondation des perrés de flottaison.* — Frais nuls en cas d'abaissement du niveau d'eau. Batardeau en argile (1 fr. 50 le mètre). Batardeau métallique (1 franc le mètre).

7° Emploi des pierres brutes de Tournai avec trous de gaffe dans les courbes convexes des canaux à fréquentation exceptionnelle.

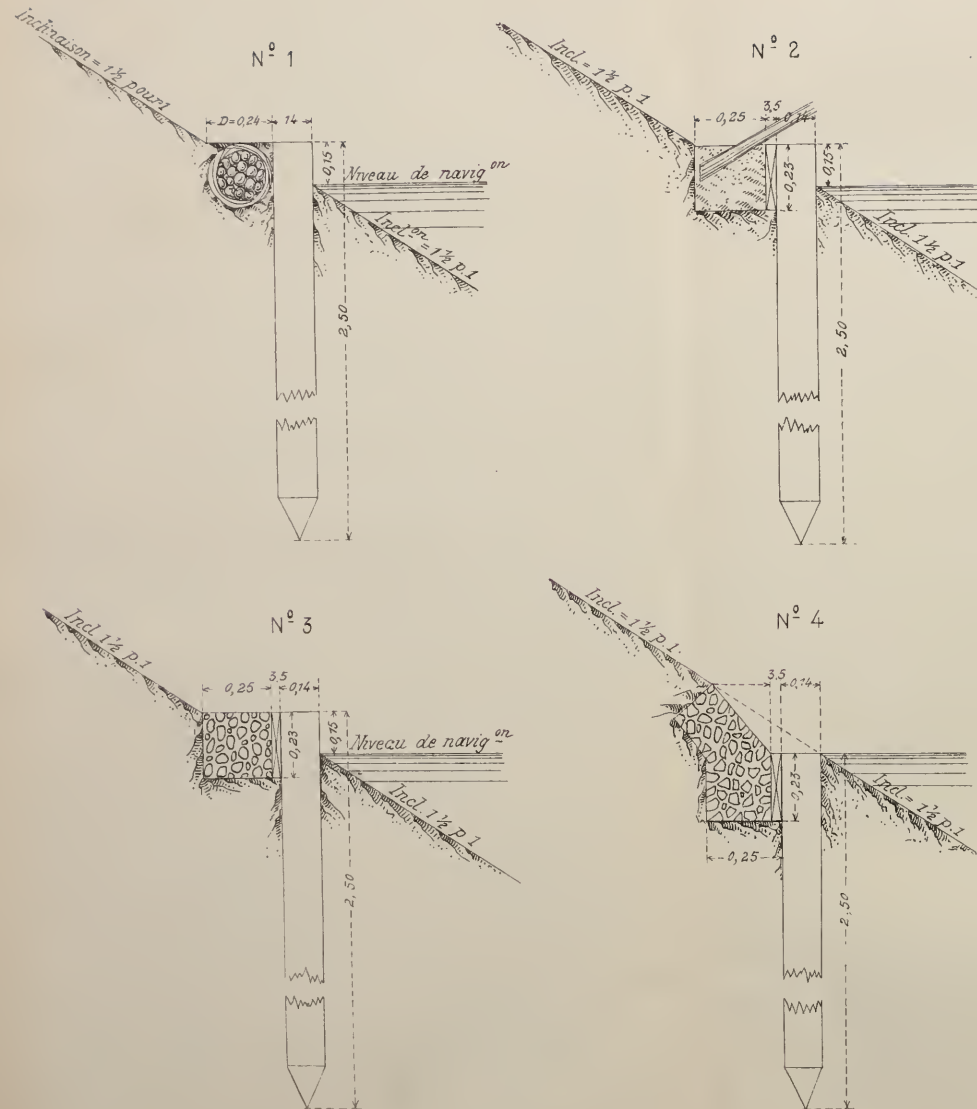
8° Emploi du caplein ou meune marne pour réparer les éboulements et restaurer les talus sous l'eau dans les terrains sablonneux.

Douai, le 12 février 1892.

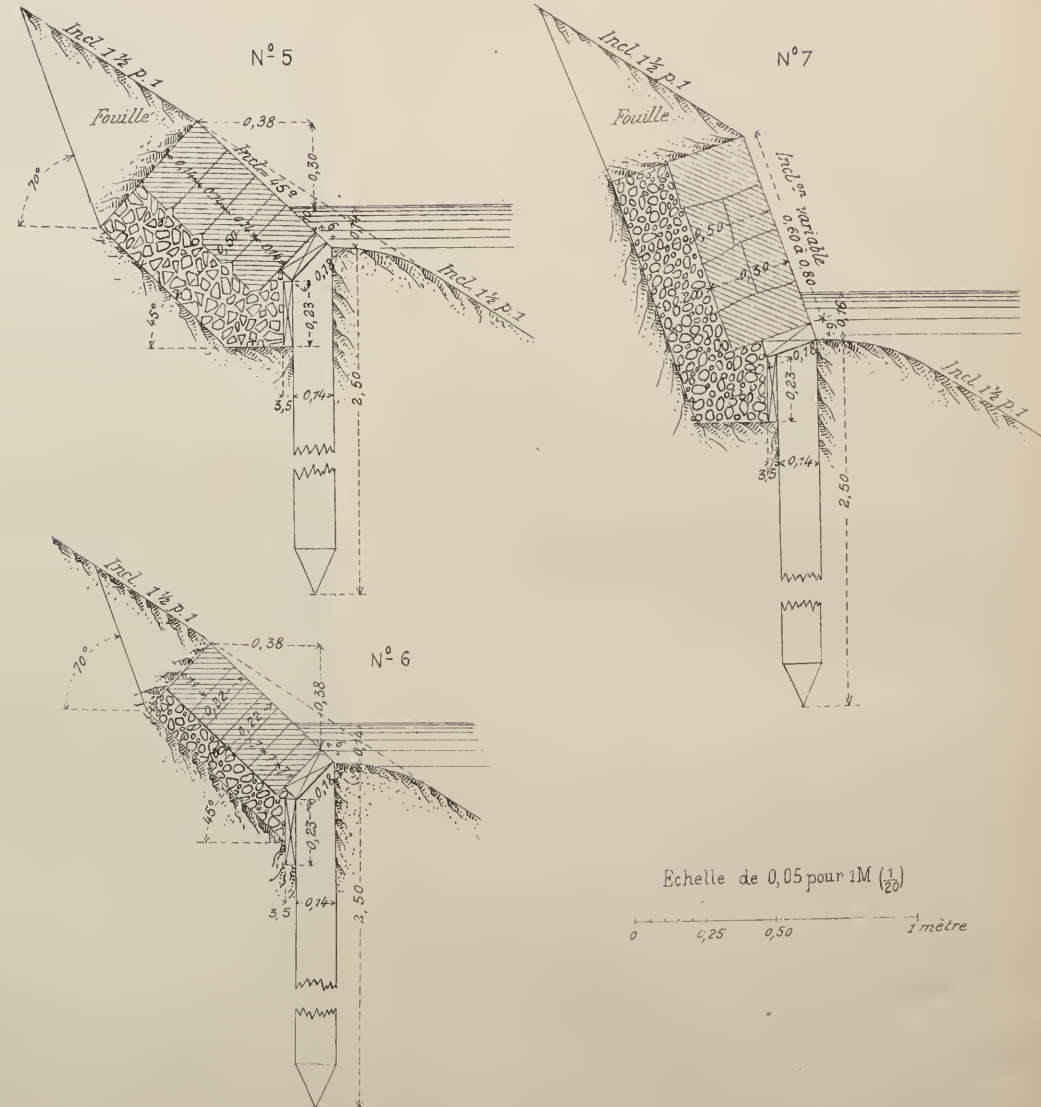
PERRÉS DE FLOTTAISON



TUNAGES



PERRÉS DE FLOTTAISON



Echelle de 0,05 pour 1M ($\frac{1}{20}$)

0 0,25 0,50 1 mètre

V^{ème} CONGRÈS INTERNATIONAL DE NAVIGATION INTÉRIEURE
PARIS 1892

1^{re} QUESTION

CONSOLIDATION DES BERGES

DES

CANAUX DES PAYS-BAS

RAPPORT

PAR

M. VAN DER SLEYDEN

Ingénieur en chef du Waterstaadt à Maestricht

PARIS

IMPRIMERIE GÉNÉRALE LAHURE

9, RUE DE FLEURUS, 9

1892

CONSOLIDATION DES BERGES

DES

CANAUX DES PAYS-BAS.

RAPPORT

PAR

M. VAN DER SLEYDEN

Ingénieur en chef du Waterstaadt à Maastricht.

Moyens de traction et vitesses.

Les moyens de traction, déjà d'ancienne date, usités sur les canaux des Pays-Bas, sont le halage pour chevaux ou parfois à bras d'homme, le poussage de fond et, si l'occasion se présente, les bateaux font voile.

Depuis un demi-siècle les bateaux à vapeur ont fait leur apparition, et de nos jours les remorqueurs et les bateaux porteurs sont admis sur les principaux canaux. Ce sont tous des bateaux à hélice, les bateaux à roue étant trop larges pour franchir les écluses et les ponts.

Les systèmes funiculaires et le halage par locomotives n'ont pas encore été appliqués.

Avant l'introduction de la navigation à vapeur, il n'y avait que quelques barges, bateaux destinés au transport de voyageurs, qui marchaient avec une vitesse correspondant au petit trot des chevaux de halage. Et encore, pour diminuer la résistance, on avait eu soin de leur donner un enfoncement si minime, que les vagues formées par eux n'étaient pas puissantes. Pour le surplus, tous les transports se faisaient à petite vitesse et le besoin de réglementer les vitesses ne s'était pas fait sentir.

Les bateaux à vapeur au contraire pouvaient disposer des forces nécessaires pour tenir tête aux résistances croissantes avec la vitesse. Il fallait donc que la permission de fréquenter un canal ne fût donnée que sous la réserve de ne pas dépasser des vitesses déterminées d'avance. Ces vitesses ont été fixées d'après les résultats de quelques trajets d'essai.

De cette manière on est parvenu, il est vrai, à mettre obstacle aux éboulements des berges, qui se manifestaient immédiatement, de même qu'à restreindre l'intensité des dégâts; mais l'expérience est là pour

démontrer que néanmoins, à la longue, les effets des bateaux à vapeur sont très nuisibles aux berges.

Le tableau suivant donne pour quelques canaux les prescriptions réglementaires, concernant les vitesses tolérées. Nous avons ajouté, pour indiquer l'importance des canaux, la superficie de la section mouillée et le mouillage. Mais il importe d'observer que les sections de bien des canaux, loin d'être uniformes sur toute l'étendue, offrent au contraire de très grandes différences, surtout pour les largeurs, de sorte qu'il n'est pas rare que la section maxima soit le double de la section minima et au delà.

DÉSIGNATION DES CANAUX.	SECTION MOUILLÉE MINIMA.	MOUILLAGE.	BATEAUX A VAPEUR.	
			ENFONCEMENT.	VITESSES MAXIMA PAR MINUTE.
	mèt. carrés.	mètres.	mèt. c.	mètres.
Noordzee kanaal	269	7 70	Au delà de. . . 2 00	150
Canal d'Amsterdam à Ymuiden.			Ne dépassant pas 2 00	200
			— 1 50	350
			Remorqueurs. . . .	150
Noord Hollandsch kanaal. . .	151	5 50	Au delà de. . . 2 75	125
Canal d'Amsterdam à Nieuwediep.			Ne dépassant pas 2 75	150
			— 2 40	200
			— 2 00	250
			Remorqueurs. . . .	150
Kanaal door Zuid Beveland. .	162	6 50	Au delà de. . . 2 75	125
(Canal à travers l'île de Zuid Beveland.)			Ne dépassant pas 2 75	150
			— 2 00	200
Eemskanaal	99	4 50		100
(Canal de Groningue à Delfzyl.)			Permission spéciale . .	au delà de 100
Kanaal Luik Maastricht en Zuid Willemsvaart.	50	2 10	Au delà de. . . 1 65	100
(Canal de Liège par Maestricht à Bois-le-Duc.)			Ne dépassant pas 1 65	120
				jusqu'à 180
Meppelerdiep.	55	1 99	Permission spéciale . .	180
(Canal de Meppel à Zwartsluis.)			Au delà de. . . 1 50	125
			Ne dépassant pas 1 50	150
			— 1 25	150
			— 1 00	200
Kanaal Groningen-Lemmer.	24	2 00	Maximum . . . 1 60	
(Canal de Groningue à Lemmer)			Bateaux pour voyageurs.	166
			— marchandises.	155
Gekanaliseerde Hollandsche Yssel	16	1 64	Au delà de. . . 1 20	100
(L'Yssel hollandaise canalisée.)			Ne dépassant pas 1 20	120
			— 1 00	150
			Remorqueurs. . . .	100

Notices générales sur les canaux.

Les terrains dans lesquels les canaux ont été creusés, suivant qu'ils

sont sablonneux, argileux ou tourbeux, se comportent très différemment au point de vue de la stabilité. Il s'ensuit que pour les talus naturels on a dû adopter des inclinaisons qui varient de 1 mètre à 2 m. 50 de base pour 1 mètre de hauteur. Bien des fois la cunette présente aussi des bermes horizontales, larges d'environ 1 mètre, à la hauteur de l'étiage ou un peu au-dessous, qui sont destinées à la plantation de roseaux.

La cunette de la plupart des canaux est assez large pour permettre sur la plus grande partie de la voie le croisement des bateaux de dimensions maxima. La section immergée des bateaux peut alors atteindre $\frac{1}{3}$ de la section mouillée du canal; mais, comme des bateaux de toutes dimensions circulent sur les canaux, ordinairement la proportion est de beaucoup plus avantageuse.

Tant que la navigation à vapeur reste prohibée, les travaux d'entretien sont peu coûteux. Ils se bornent à des dragages peu importants, à des revêtements de rives avec des gazons et aux soins qu'exigent les plantations de roseaux. Parfois encore, quand les talus au niveau du plan d'eau ne résistent pas à l'action des vagues soulevées par le vent ou par le passage des bateaux, on les protège par un « kieltuin », petite haie, haute de 50 centimètres, construite en fascinage.

Tout change dès que les bateaux à vapeur sont admis sur le canal. Il n'y a pas de talus naturels assez stables pour se maintenir contre l'action corrosive des vagues et des courants produits par le passage des bateaux et le mouvement rotatoire de l'hélice. Il faut alors protéger les berges par des revêtements empierrés, des files de pieux et palplanches, ou d'autres ouvrages.

Avant de traiter des modes de consolidation qui ont été employés sur divers canaux, nous examinerons les circonstances dans lesquelles l'exécution a dû être entreprise.

Il y a d'abord lieu de considérer la nature des terrains. Quand le sable est dur ou l'argile compacte, on réussit plus aisément à donner aux berges la stabilité voulue que quand les terres sont limoneuses.

Viennent ensuite les variations auxquelles est soumis le plan d'eau. Sur plusieurs biefs de canaux le niveau se maintient à une hauteur à peu près constante; sur d'autres les hautes eaux et basses eaux varient de plusieurs décimètres, d'un mètre et au delà. La construction des revêtements doit se conformer à ces diverses éventualités.

Une autre circonstance a singulièrement borné le choix des procédés de consolidation, c'est que, sauf quelques exceptions, les chômages et baisses d'eau annuelles d'un bief entier sont inconnus, en égard aux difficultés et aux frais qu'entraînerait l'épuisement des eaux. Il faut donc que les travaux soient exécutés sur des berges submergées. Cette sujétion constitue une complication sérieuse du problème; avant de choisir le procédé qui paraît préférable, on est obligé d'éliminer les types dont l'exécution serait trop difficile. Pour les talus en contre-bas du plan d'eau on est donc réduit

à l'application de files de pieux et de palplanches; on n'a pas encore réalisé de système convenable, pour le revêtement en pierre d'un talus submergé.

Des complications d'un autre genre ont encore influé sur le choix de la solution. Il est arrivé maintes fois que la consolidation des berges étant devenue nécessaire, on en a profité en même temps pour élargir ou approfondir la cunette. En ce cas, il ne s'agit pas simplement de protéger le talus, mais il faut encore que le revêtement puisse être exécuté avec une inclinaison plus raide.

Consolidations des berges exécutées.

Après ces notions générales nous procédons à la description des travaux exécutés sur quelques canaux des plus fréquentés par les bateaux à vapeur.

Le *Noordzee kanaal*, canal maritime d'Amsterdam à la mer du Nord, près d'Ymuiden, se trouve, au point de vue des berges, dans des conditions exceptionnelles. Nous renonçons à une description qui serait de peu d'utilité pour notre but et qui néanmoins, pour être correcte, exigerait d'assez longs détails.

Le *Noord-Hollandsch kanaal*, canal maritime d'Amsterdam à la mer du Nord, près de Nieuwediep, a été construit avec des talus de 2 m. 50 de base pour 1 mètre de hauteur; bien qu'il n'y eût pas de risberme, on a réussi, à force de soins continus, à cultiver une bande de roseaux, qui a protégé pendant de longues années les berges sur des étendues assez considérables, contre les effets des vagues. Partout où les roseaux ne prospéraient pas, le « *kieltuin* », mentionné ci-dessus, protégeait la berme à la hauteur du plan d'eau.

Mais à peine la navigation à vapeur eut-elle été tolérée sur le canal pendant quelques années que les rives se trouvèrent sérieusement endommagées, de façon que les roseaux disparaissaient successivement et que le « *kieltuin* » non plus ne pouvait résister.

Dès l'année 1856, la réparation des berges était urgente, et comme on était d'avis que la navigation à vapeur ne devait pas être prohibée, la lutte contre les détériorations fut engagée et n'est pas encore arrivée à son terme. Il importe d'ajouter que, depuis 1876, date de l'ouverture du *Noordzee kanaal*, les bâtiments de mer ont presque entièrement abandonné le canal. Toutefois la navigation intérieure est très active et les bateaux à vapeur en grand nombre circulent sur le canal; mais l'enfoncement de ces bateaux se trouve dans un rapport très avantageux relativement au monillage.

Sur les parties où la situation des lieux ne s'y opposait pas, on a, en élargissant la cunette, rétabli le talus et construit une risberme; mais cette

mesure n'a eu qu'un succès passager. Il était évident qu'il fallait sur toute l'étendue du canal reconstruire à des mesures plus efficaces.

Les consolidations, qui ont été appliquées, se ressemblent toutes en ce qui concerne leur partie essentielle. On a enfoncé une file de pieux, longs de 5 m. 55, à des intervalles de 0 m. 75, dont la tête était à 0 m. 40, en contre-haut de l'étiage. Ces pieux sont réunis par un madrier jointif de 25×5 centimètres, derrière lequel sont enfoncées des palplanches. On a eu soin de couvrir les joints par des tringles.

Dans les constructions les plus anciennes, on glissait derrière les pieux un revêtement vertical, construit en planches ; mais la profondeur d'environ 1 mètre étant insuffisante, ce revêtement a été abandonné pour être remplacé par des palplanches dont la longueur de 2 mètres a été portée peu à peu à 2 m. 50, à 5 mètres et à 5 m. 25.

Dans les terrains les plus limoneux, on se sert de pieux longs de 5 mètres, et pour augmenter, au besoin, la stabilité, ces pieux sont reliés par des tirants horizontaux à des pieux de retenue enfoncés hors du prisme d'éboulement des terres.

Les vides derrière la construction en charpente sont remblayés avec des terres ou des gravois, selon la nature du sol, et la surface est protégée par un revêtement en gazon, en briques ou en moellons. Quand la disposition des lieux ne s'y oppose pas, on ménage une banquette à la hauteur de la charpente, soit à 10 centimètres en contre-haut de l'étiage.

Dans les constructions exécutées depuis près de 40 ans, on tend évidemment à descendre de plus en plus en contre-bas du niveau d'eau. On ne saurait affirmer pourtant qu'on soit arrivé dès à présent à une solution convenable, qui ne laisse rien à désirer au point de vue de la durée du travail.

Les prix de revient des constructions qui viennent d'être décrites varient depuis 7 florins (14 fr. 56), jusqu'à 15 florins (51 fr. 20) par mètre courant, pour chaque berge suivant la longueur des pieux et palplanches, la nature et l'étendue des remblais et celles des revêtements du talus ascendant.

Le *Kanaal door Zind-Beveland*, canal à travers l'île de Zind-Beveland, qui relie les deux branches de l'Escaut, a été livré à la navigation il y a 25 ans environ. Les années suivantes les talus ont été perreyés. A cette fin on a effectué des baisses partielles, les eaux pouvant s'écouler librement dans l'Escaut, à l'étiage.

L'inclinaison des talus est de 2 m. 50 de base pour 1 mètre de hauteur, et il se trouve une risberme, large de 1 m. 50, à la hauteur du plan d'eau.

Le revêtement se composait d'abord d'une couche d'argile de 0 m. 55 d'épaisseur, d'une couche de gravois de 0 m. 15, et de moellons bruts de Vilvorde et de Lessines, épais de 0 m. 15. La couche d'argile étant mise en place, des piquets, longs de 1 m. 20, furent enfoncés en files longitudinales

et transversales, formant des rectangles dans lesquels le gravois et les moellons bruts furent déposés à leur tour. Une dizaine d'années après, les pieux se trouvant pourris, on a revêtu la partie supérieure du talus d'un pavage en moellons bruts ; en même temps le talus naturel au-dessous du talus protégé a été garni d'un enrochement à pierres perdues.

Le talus protégé ne monte que jusqu'à 0 m. 40 en contre-haut du niveau d'eau, ce qui paraît insuffisant pour ce terrain, car le talus gazonné est encore attaqué par les vagues formées par le passage des bateaux. Le talus protégé, y compris l'enrochement à pierres perdues, ne descend que jusqu'à 1 m. 60 en contre-bas du niveau d'eau. Le talus immergé plus bas n'est pas encore endommagé, mais il faut constater que ce talus se trouve dans des conditions très avantageuses par rapport à la navigation. Les bâtiments de mer sont peu nombreux sur le canal. Les bateaux du Rhin et les remorqueurs, qui passent par le canal pour se rendre à Anvers ou pour en revenir, ont un enfoncement de 2 m. 40 et de 2 mètres au maximum, tandis que le mouillage du canal est de 6 m. 50. Puis le canal est fréquenté par des bateaux de pêche en grand nombre, dont le tirant d'eau est restreint, et qui vont tous à la voile.

Le prix de revient de l'ensemble des travaux de revêtements peut être évalué à 15 florins (51 fr. 20) par mètre courant.

Le *kanaal door Walcheren*, canal qui travers l'île de Walcheren, reliant aussi les deux branches de l'Escaut, a un mouillage de 7 m. 20. Les berges ont été empierrées lors de la construction du canal, qui a été livré à la navigation en 1875. Les talus sont revêtus d'argile de 0 m. 50 et d'une couche de gravois de 0 m. 14, couverte d'un pavage en moellons bruts de Vilvorde et de Tournay à l'épaisseur de 0 m. 18.

La risberme est large de 1 m. 10; le talus inférieur a une inclinaison de 2 m. 50 de base pour 1 mètre de hauteur, et le talus supérieur de 2 m. pour 1. Le talus empierré ne descend que jusqu'à 0 m. 90 en contre-bas de l'étiage. Au pied a été déposé un enrochement à pierres perdues et la couche d'argile se prolonge jusqu'au plafond.

Le prix de revient est évalué à 14 florins 50 (50 fr. 16) par mètre courant et les frais d'entretien sont minimes. Quoiqu'il y ait lieu d'attribuer ce résultat à la solidité de la construction, il est aussi à remarquer que la navigation n'est pas non plus très active; des bateaux d'un grand tirant d'eau ne circulent guère sur le canal.

Le *Zuid-Willemsvaart*, ou la partie néerlandaise du canal de Maëstricht à Bois-le-Duc, a été construit, en 1822-1826, avec des talus de 2 mètres de base pour 1 mètre de hauteur.

La navigation à vapeur s'est développée, surtout sur la partie inférieure du canal, c'est-à-dire près de Bois-le-Duc. Déjà, en 1855, les berges de cette partie avaient été endommagées sensiblement, de sorte qu'il avait fallu les réparer et les consolider. Ce ne fut qu'en 1875 que l'on entreprit la réparation des berges dans la partie du canal près de Uleert. Toutefois

on ne saurait uniquement attribuer ce résultat à ce que la navigation à vapeur était moins active sur la partie supérieure du canal ; la nature de la terre y a aussi contribué.

Sur la partie inférieure du canal on s'est d'abord occupé plus spécialement de remédier aux dégradations qui se manifestaient au niveau de l'eau. La berge, à 0 m. 10 ou 0 m. 20 en contre-bas de l'étiage, fut aplaniée de manière à former une petite risberme, qui fut revêtue de fascines. Dans le double but de retenir ces fascines et de protéger le talus contre les vagues, on dressait un « kieltuin » par-dessus.

Mais ces travaux n'étaient pas de nature à protéger les berges pour un grand laps de temps. Bientôt il fallut recommencer. Partout où le talus inférieur tenait suffisamment, on refit les mêmes travaux de fascinage comme protection provisoire, ce qui se faisait à bon marché et en peu de temps.

En même temps on a eu recours à des travaux que l'on croyait plus durables. On a enfoncé une file de pieux, longs de 1 m. 80, jusqu'à une hauteur de 0 m. 50 en contre-bas du niveau d'eau, et empierré le talus supérieur jusqu'à 0 m. 70 en contre-haut du niveau d'eau.

Pour l'exécution de ce travail, de même que pour celui du fascinage, une baisse partielle était de rigueur.

Néanmoins, cette consolidation, poursuivie pendant plusieurs années et sur de grandes étendues, avait des défauts. Les moellons bruts, posés directement sur la terre naturelle, ne tenaient pas et les pieux, en s'inclinant, devenaient gênants pour la navigation.

Depuis quelques années on a donc modifié la construction ; les pieux, longs de 2 m. 50, ne sont enfoncés que jusqu'à 0 m. 20 en contre-haut de l'étiage et les joints sont couverts par des piquets qui font fonction de tringles. On a aussi revêtu le talus supérieur d'une couche de gravois, sur laquelle est posé le pavage en moellons bruts.

Sur la partie près de Uleert, on a commencé avec le « kieltuin » à la hauteur du plan d'eau. Quelques années plus tard, en 1880, et dans les années suivantes, on a exécuté des constructions plus solides. La partie essentielle consiste en une file de pieux, longs de 1 m. 80, enfoncés jusqu'à la hauteur du plan d'eau. Les cavités derrière ces pieux sont remblayées avec du gravier.

Une expérience d'environ dix ans n'est pas favorable à ce genre de construction. Le talus inférieur s'en va de plus en plus et les pieux s'inclinent vers la cuvette. Sur les points les plus attaqués on a déjà dû renouveler la construction en remplaçant les pieux de 1 m. 80 par des pieux plus longs, qui vont jusqu'à 3 m. 25.

Le prix de revient des travaux en fascinage est d'un demi-florin (1 fr. 04) par mètre courant. Pour les autres travaux mentionnés, ce prix varie de 5 à 6 florins (6 fr. 24 à 12 fr. 48) par mètre carré.

Le *kanaal Luik-Maastricht* est la partie néerlandaise du canal de Liège

à Maëstricht. Les berges de ce canal près de Maëstricht sont protégées par une file de pieux, longs de 2 mètres, enfoncés jusqu'à 0 m. 50 en contre-bas du niveau d'eau, avec des intervalles de 1 m. 50, et couplés par une longrine. Derrière ces pieux on a glissé un revêtement de madriers, ou bien on a enfoncé des palplanches de 0 m. 75 de longueur, selon la nature de la terre. Le talus supérieur, dont l'inclinaison est de 1 m. 50 de base pour 1 mètre de hauteur, est pavé avec des moellons bruts. L'exécution de ces travaux a eu lieu pendant une baisse partielle des eaux. Le talus empierré monte jusqu'à 0 m. 50 en contre-haut du plan d'eau et le talus au-dessus est gazonné.

Depuis dix ans cette construction se tient bien, mais ici la terre est plus stable qu'elle ne l'est ailleurs.

Spaarne. — Il reste encore à faire mention d'un fait remarquable, dont on a fait l'expérience sur le Spaarne, cours d'eau assez large et d'une section variable, près de Haarlem.

Pour annuler l'effet de la vague on avait revêtu les berges de plantations de roseaux. Mais les courants, formés par les bateaux à vapeur, enlevèrent la terre en dessous des roseaux, de sorte qu'ils devinrent de plus en plus légers, se détachèrent des bords et surnagèrent à la surface. Pendant des mois la navigation a été gênée sérieusement par ces roseaux flottants, qu'il a fallu écarter jusqu'au dernier. Puis, la berme et le talus ont été protégés par du gravois.

Conclusions.

Nous pourrions compléter la description des constructions exécutées en relatant ce qui a été fait sur d'autres canaux ; mais les descriptions ci-dessus suffiront pour faire voir que l'on n'est pas encore au bout de la période des expériences. Il convient donc d'être circonspect en fait de conclusions.

On peut admettre qu'on avait songé d'abord, en tolérant les bateaux à vapeur sur les canaux, à restreindre les vitesses de circulation à tel point que les berges submergées ne fussent pas attaquées, de sorte que l'on n'eût besoin que de revêtir le talus à la hauteur du plan d'eau.

Il est évident que l'on s'est mépris à cet égard. On a été obligé partout de renouveler les constructions primitives en les prolongeant à plus grande profondeur en contre-bas du plan d'eau.

Toutes les constructions exécutées peuvent être classées en deux catégories, savoir :

1° Celle des talus empierrés ;

2° Celle des files de pieux et de palplanches.

La première catégorie, celle des empièrrements, trouve son application sur les berges qui sont alternativement à sec et submergées ; l'exécution

ni l'entretien ne peuvent se faire dans l'eau. Au contraire, la seconde catégorie, celle des constructions en bois, n'a pas besoin de la baisse des eaux pour être exécutée; pour qu'ils soient durables, il faut même que ces travaux soient submergés constamment.

Tant que cette dernière condition est remplie, les constructions en bois offrent des avantages très appréciables. Les pieux et les palplanches étant enfoncés verticalement ou en pente très raide, tandis que le talus naturel disparaît partiellement, ces constructions tendent à élargir la cunette autant que possible. Puis l'exécution peut avoir lieu en temps de navigation, de sorte qu'on n'a pas besoin de décréter des chômages à cet effet au beau milieu de l'été.

Le prix de revient des constructions en bois, y compris l'empierrement du talus supérieur, ne dépasse pas le prix d'un talus empierré sur toute l'étendue nécessaire.

On peut évaluer les dépenses d'une consolidation solide pour les canaux maritimes de 15 à 20 florins (51 fr. 20 à 41 fr. 60) par mètre courant, soit 50 000 à 40 000 florins (62 400 à 85 200 francs) par kilomètre du canal, et pour les canaux de navigation intérieure (5 à 8 florins (10 fr. 40 à 16 fr. 64) par mètre courant, soit 10 000 à 16 000 florins (20 800 à 55 280 francs) par kilomètre du canal.

Il est probable que, quand les berges d'un canal seront consolidées sur toute leur étendue, les vitesses de circulation pourront être augmentées.

Maestricht, 14 mars 1892.

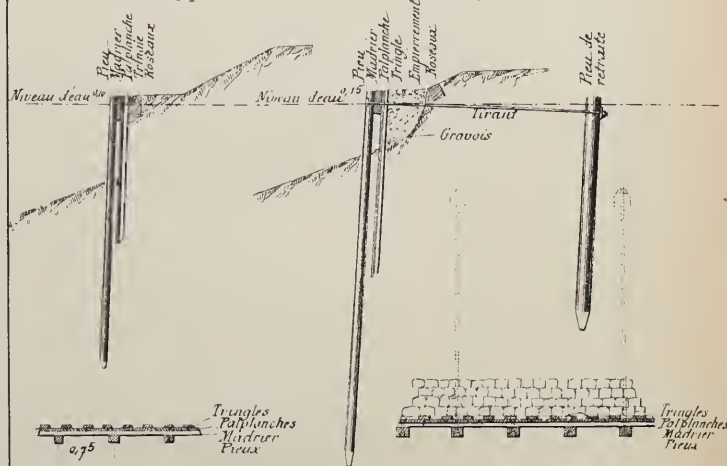
Texte de l'auteur.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN

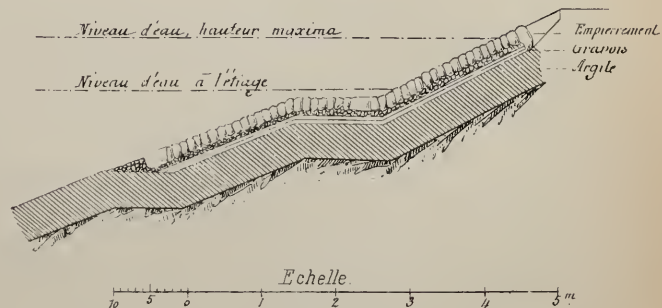
Noord Hollandsch kanaal.

1^{er} Type

2^e Type



Kanaal door Walcheren



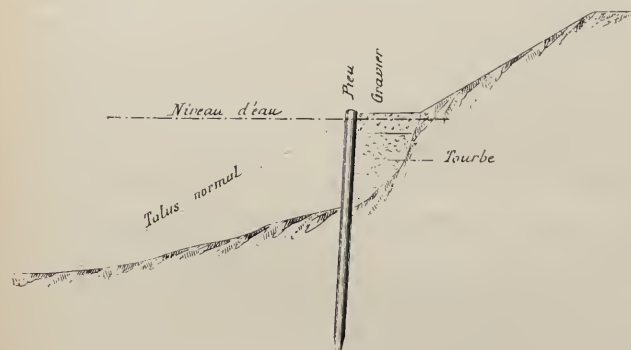
Zuid Willemsvaart.

Revêtement provisoire

Près de Weert
Ancienne construction



Près de Weert
Nouvelle construction



Partie inférieure du canal
Nouvelle construction

Canal Liege Maestricht



24 494. — PARIS, IMPRIMERIE LAHURE
9, rue de Fleurus, 9.

V^{ème} CONGRÈS INTERNATIONAL DE NAVIGATION INTÉRIEURE
PARIS 1892

1^{re} QUESTION

SUR QUELQUES TRAVAUX
DE
CONSOLIDATION DES BERGES DES CANAUX
EXÉCUTÉS EN RUSSIE

RAPPORT

PAR

M. E. HOERSCHELMANN

Ingénieur des voies de communication, à Saint-Petersbourg

PARIS

IMPRIMERIE GÉNÉRALE LAHURE

9, RUE DE FLEURUS, 9

1892

SUR QUELQUES TRAVAUX
DE
CONSOLIDATION DES BERGES DES CANAUX
EXÉCUTÉS EN RUSSIE

RAPPORT

PAR

M. E. HOERSCHELMANN

Ingénieur des voies de communication à St-Petersbourg.

Parmi les canaux navigables de Russie, ceux qui présentent le plus d'importance pour la navigation intérieure, ce sont les canaux de Ladoga, par lesquels passe le trafic très considérable qui se dirige par voie fluviale du vaste bassin du Volga vers Saint-Petersbourg et qui atteint le chiffre de 5 millions de tonnes par an. Les canaux de Ladoga, qui forment l'artère principale de l'approvisionnement de la capitale, ont toujours été l'objet de soins tout particuliers de la part de l'administration des voies de communication. Par leur situation éminemment découverte, tout près des bords d'un lac immense, d'une surface de 18 000 kilomètres carrés, — le plus grand des lacs d'eau douce en Europe, — ces canaux sont très exposés aux tempêtes, qui soulèvent à leur surface de fortes vagues dont le choc dégrade sérieusement les berges. Pendant toute la durée de la navigation, de fin d'avril jusqu'à la mi-octobre, sur les canaux de Ladoga, se fait un service régulier de bateaux à vapeur pour voyageurs : les bateaux portant des marchandises sont halés par des chevaux. Sur une partie de ces canaux on a employé, à titre d'essai, durant deux périodes de navigation (en 1881 et 1882), la traction par la vapeur pour tous les bateaux chargés de marchandises. Des convois de 4 à 6 bateaux étaient remorqués par des vapeurs à hélice. Les dégradations produites par ce mode de traction sur le lit et les berges des canaux ont été très marquées. Suivant l'axe du canal, se formait, sur une longueur d'à peu près 5 sagènes (10 m. 66), une excavation dont la profondeur atteignait 1/2 sagène (1 m. 06), tandis que vers les rives la profondeur devenait tout à fait insuffisante. Les berges, perdant leur forme régulière et s'éboulant peu à peu dans le canal, s'affaissaient

sensiblement. C'est ainsi qu'après deux années d'essais on a suspendu le remorquage des bateaux chargés de marchandises et, depuis lors, la traction de tous les bateaux, à la seule exception des vapeurs pour voyageurs dont la vitesse n'excède pas 7 verstes (7 kilom. 47) par heure, se fait sur le parcours entier des canaux de Ladoga par chevaux de halage.

Sur ces canaux on a exécuté beaucoup de travaux de consolidation des berges. Avant d'énumérer les différentes méthodes qu'on a appliquées à ces travaux, à différentes époques, il nous semble utile de faire une description sommaire des canaux eux-mêmes.

Les canaux de Ladoga longent la côte méridionale du lac du même nom sur une étendue totale de 157 verstes (168 kilomètres), depuis l'origine de la Néva à sa sortie du lac Ladoga jusqu'à l'embouchure du Svir, qui tombe dans ce même lac. Sur tout ce parcours existe une double voie navigable. La ligne des vieux canaux, construite déjà en partie au siècle passé et en partie au commencement de ce siècle, est la plus éloignée du lac ; les nouveaux canaux ont été établis plus tard, dans une période de 20 ans de 1865 à 1885, et sont situés entre les vieux canaux et le lac. Deux grandes rivières, le Volkhoff et la Siasse, se jettent dans le lac de Ladoga entre l'origine de la Néva et l'embouchure du Svir et divisent les canaux en six parties différentes :

Entre l'origine de la Néva et l'embouchure du Volkhoff, le vieux canal porte le nom de canal de l'empereur Pierre le Grand ; son niveau est surélevé au-dessus du niveau du lac d'une sagène environ et ses deux extrémités sont fermées par des écluses. Le nouveau canal, qui n'est pas éclusé et dont les eaux sont de niveau avec celles du lac, porte le nom de l'empereur Alexandre II, sous le règne duquel il a été construit. Chacun des deux canaux susmentionnés a une longueur de 104 verstes (111 kilomètres).

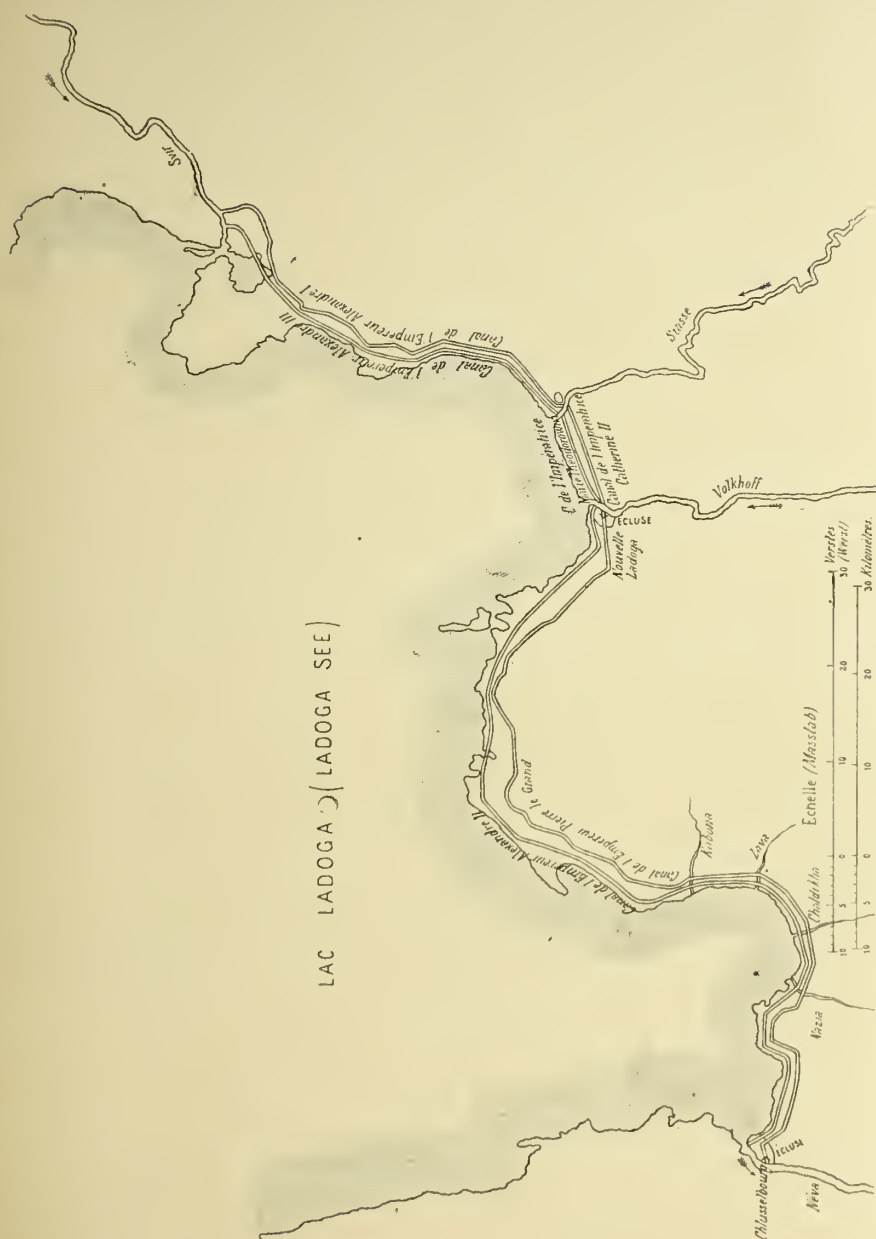
Les embouchures du Volkhoff et de la Siasse sont également réunies par deux canaux parallèles, portant les noms des impératrices Catherine II et Marie Féodorovna. L'étendue de chacun d'eux est d'environ 10 verstes (10 kilomètres et demi).

Le dernier échelon des canaux de Ladoga, réunissant les embouchures de la Siasse et du Svir, est formé, sur une longueur d'environ 45 verstes (46 kilomètres), par les canaux des empereurs Alexandre I^{er} et Alexandre III.

De ces six canaux, un seul, le plus ancien, celui de Pierre le Grand, est éclusé ; les cinq autres sont de niveau avec le lac. Par les rivières Volkhoff, Siasse et Svir arrivent à ces canaux les bateaux de quatre systèmes fluviaux, qui réunissent la ville de Saint-Petersbourg avec les bassins de la mer Caspienne et de la mer Blanche.

Les bateaux chargés qui se dirigent vers Saint-Petersbourg suivent la nouvelle ligne, dont la section a de plus fortes dimensions. La largeur au plafond est de 12 sagènes (25 m. 50), la profondeur d'eau à l'étiage de 2 à 5 archines

(1 m. 42 à 2 m. 15), selon la hauteur des eaux dans le lac. Les vieux canaux, qui sont moins larges et moins profonds, donnent passage aux



trains de bois, aux bateaux chargés de charbon et de foin et aux bateaux vides ou partiellement chargés qui reviennent de Saint-Petersbourg pour retourner au Volga ou à la Dyina du Nord.

La fréquentation annelle des canaux Pierre le Grand et Alexandre II est

d'à peu près 17 000 bateaux (y compris 800 bateaux à vapeur) et de 18 000 radeaux de bois.

Les berges des canaux de Ladoga sont en général peu élevées et se composent habituellement d'une terre sablonneuse peu résistante, entremêlée quelquefois d'argile; leur hauteur moyenne est d'environ 2 sagènes et un quart au-dessus du plafond du canal. Les talus, dont la plupart ont 3 ou 4 de base pour 2 de hauteur, sont, à peu d'exception près, recouverts d'un revêtement en gazon. L'amplitude des oscillations du plan d'eau dans les canaux non éclusés est d'à peu près 1 sagène 20 (2 m. 56), suivant la hauteur de l'eau dans le lac. Le tirant d'eau des bateaux varie actuellement entre 0 sagène 60 (1 m. 28) et 1 sagène (2 m. 15). En même temps qu'on procèdera à la réorganisation du système fluvial Marie, déjà en cours d'exécution, la nouvelle ligne des canaux de Ladoga va être considérablement approfondie, de manière que les bateaux puissent toujours y naviguer avec un tirant d'eau d'au moins 10 quarts d'archine (1 m. 70).

Le problème d'une bonne consolidation des berges a déjà beaucoup préoccupé Pierre le Grand lors de la construction du premier canal de Ladoga. On a conservé un dessin fait de la main propre de l'empereur et représentant le profil d'un revêtement des bords du canal. C'est une espèce de mur de quai en bois formé de pieux et de madriers. Pendant toute la durée de la construction du canal et après son achèvement en 1731, un grand nombre de systèmes de consolidation des berges ont été appliqués à différentes époques. En premier lieu, sur une longueur de 12 verstes et demie à partir de l'embouchure du Volkhoff, on avait revêtu les rives du canal de fascines, en cinq couches superposées. Pour donner plus de résistance aux fascines, on les chargea, quelque temps après, de grands galets et on battit dans le canal, le long des rives, des files de pieux. Ce mode de défense des berges a exigé des réparations à maintes reprises; en tout, il a duré une quarantaine d'années. Après quoi, la situation devenait telle qu'on a été obligé d'extraire du lit du canal ce qui restait encore de pieux; plusieurs d'entre eux s'étaient sensiblement déviés de leur position primitive, de sorte qu'ils formaient un obstacle pour la navigation. Sur une longueur de 80 verstes, le revêtement des berges a été exécuté conformément au dessin fait par l'empereur lui-même, et dont il a été question plus haut. En outre, au cours du siècle passé, on a essayé sur ce même canal plusieurs autres systèmes de défense des berges. La plupart de ces constructions se composaient de pieux, de planches, de fascines et de galets; elles péchaient toutes par l'insuffisance des dimensions des pieux, le défaut d'une liaison solide entre les différents matériaux, et la pente trop raide donnée aux rives. On s'est bientôt convaincu de l'insuffisance de tous ces systèmes de consolidation des berges, et peu à peu on les a remplacés par des talus à pente douce, revêtus de gazons et quelquefois de perrés à sec. C'est de la même manière qu'on a défendu les berges des autres canaux de Ladoga, construits au siècle actuel.

La cause principale de la dégradation des berges de ces canaux, ne réside pas dans leur mode d'exploitation. Les bateaux chargés, au nombre d'à peu près 12 000 par an, naviguent avec une vitesse qui ne dépasse guère 5 ou 4 verstes (5 kilom. 20 à 4 kilom. 27) par heure. La vitesse des bateaux à vapeur atteint seulement par exception 7 verstes (7 kilom. 47). Mais les berges souffrent beaucoup du choc des vagues soulevées par le vent, des oscillations fréquentes du plan d'eau et, dans la saison froide, des changements considérables et souvent très brusques de la température qui produisent alternativement soit la congélation des canaux, soit la débâcle des glaces.

Pour prévenir la dégradation des berges, on a employé : des clayonnages d'osier, des fascinages, des revêtements en gazons superposés, en perrés à sec ou en petites dalles, rangées à la manière des tuiles. Aucun de ces systèmes n'a donné de résultats satisfaisants ; ils n'ont résisté que peu de temps au choc des vagues et à l'effet destructeur des intempéries atmosphériques. Alors, on a eu recours, dans la limite des oscillations du niveau d'eau, à un revêtement partiel des talus en perrés à sec, reposant par le pied sur un enrochement soutenu du côté du canal par une rangée de pieux. Le haut du talus est gazonné.

Ce procédé présente l'inconvénient suivant : Quand les travaux ne sont pas exécutés au moment des plus basses eaux, il peut arriver que le pied de l'enrochement vienne ensuite à émerger et soit affouilli par les vagues. Alors on est obligé de prolonger vers le bas le revêtement en perrés et de le soutenir par un nouvel enrochement, limité lui-même par une nouvelle rangée de pieux. Pour éviter ces inconvénients, on aurait peut-être bien fait, dès l'ouverture d'un canal, de revêtir les talus de perrés, depuis le fond jusqu'au niveau des plus hautes eaux.

On peut se convaincre de la solidité et de la durée d'une telle défense par l'exemple de l'extrémité est du canal de l'Empereur Alexandre II, au voisinage de la ville de Nouvelle Sadoga, où, sur une longueur d'une verste (1 kilom. 07), les talus ont été, dès le creusement du canal, revêtus de gros perrés à sec. Ce revêtement s'est bien conservé jusqu'à présent, pendant un quart de siècle, et n'a presque pas eu besoin de réparations, malgré le peu de résistance du terrain.

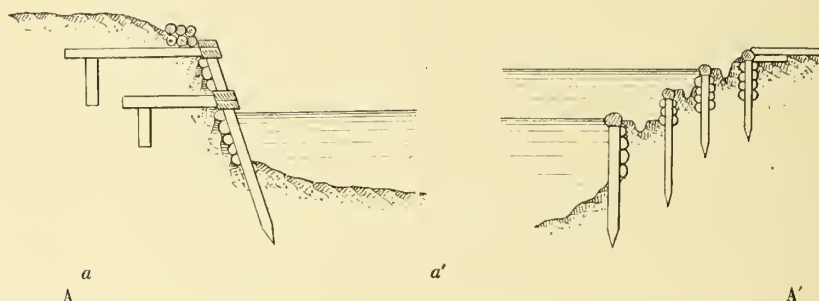
Dans les endroits où le canal rencontre les embouchures des petites rivières Nazia, Chaldikha, Lava et Kabona, l'expérience a montré qu'un simple revêtement en perrés à sec ne suffit pas pour protéger les berges contre l'affouillement produit par l'eau courante ; en ces points on a été obligé de revêtir les talus d'une double couche de perrés ou d'un fort enrochement.

En général on a observé qu'un perré à sec est apte à préserver les talus des affouillements et éboulements, qu'il contribue à leur conserver une pente régulière et permet de diminuer sensiblement les frais d'entretien.

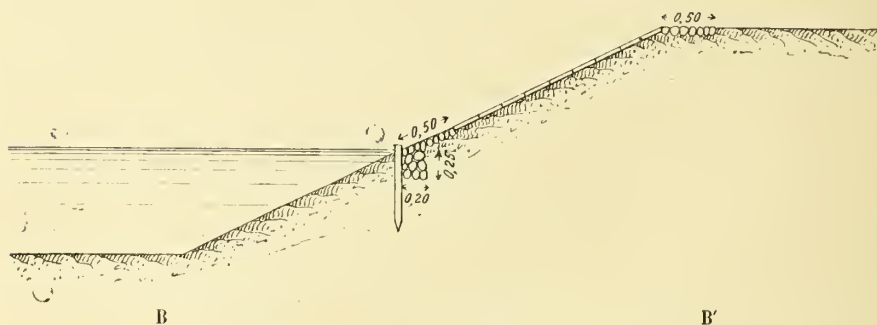
La sagène courante (2 m. 15) du revêtement susmentionné, en perrès à sec reposant par le pied sur un enrochement et couronné d'un gazonne-



Anciens travaux de consolidation des berges du canal Pierre le Grand, d'après des dessins dans un ouvrage sur les canaux de Russie, publié en 1841, par M. J.-Ch. Stuckleberg.

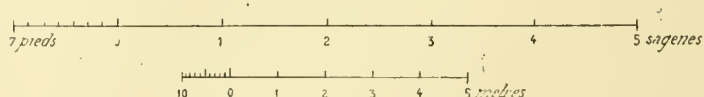


Mode de consolidation des berges représenté sur le dessin fait par l'empereur Pierre le Grand.



Profil exécuté dans quelques parties du canal Empereur Alexandre II.

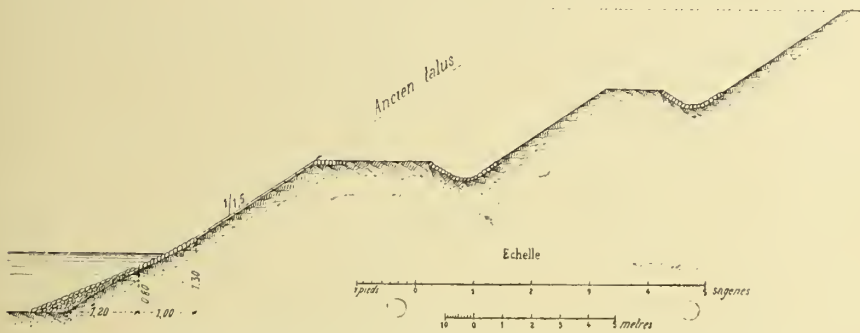
Echelle



ment à la partie supérieure des talus, revient à 7 roubles 45 copecs, soit à peu près 8 fr. 74 par mètre courant.

Tout ce qui précède se rapporte à des talus d'une hauteur modérée, ne dépassant pas 3 sagènes (6 m. 40) au-dessus du plafond du canal. Dans les tranchées profondes qui se trouvent en quelques endroits sur le bord

du canal Empereur Alexandre où l'élévation des berges atteint 7 régions et demie (16 mètres) au-dessus du plafond du canal, et où les talus sont détrempés par des eaux souterraines abondantes, qui, venant s'ajouter aux causes de dégradations mentionnées plus haut, produisent des éboulements considérables de masses entières de terre, l'application de moyens simples et peu coûteux de défense des berges est resté sans résultat. Le drainage de la surface des talus, les clayonnages d'osier et même des déblais partiels par lesquels on adoucissait un peu la pente des talus n'ont pas pu remédier à la dégradation des berges. Alors on a eu recours à des mesures plus efficaces. Les talus d'une hauteur considérable sont subdivisés par des banquettes dont la largeur varie selon la qualité du sol d'une 1/2 à 5 sagènes (1 m. 06-6 m. 40). Les eaux de



Profil adopté pour la consolidation des berges du canal Empereur Alexandre III, dans les grands déblais.

source très abondantes sont recueillies par des fossés pavés qui les font écouler dans le canal. La partie inférieure du talus est revêtue en perrés à sec, reposant par le pied sur un enrochement. Ces dispositions qu'on a réalisées en plusieurs endroits et qui sur certains points existent déjà depuis plus de cinquans, ont donné des résultats complètement satisfaisants. L'émminence du sol naturel que le canal Alexandre III rencontre dans une partie de son parcours, — à une distance de 1 1/4 verstes de son embouchure dans le Svir, — est traversée par le canal sur une longueur de 4 verstes et demie (4 kilom. 80) : depuis 1886, on alloue chaque année une certaine somme, de 15 000 à 40 000 roubles (57 000-100 000 francs), pour les travaux de consolidation des berges dans cette partie du canal. Jusqu'à présent on a dépensé 150 000 roubles (525 000 francs). Pour cette somme on a ainsi consolidé les berges sur une longueur de 175 sagènes (575 mètres). Le prix de la sagène courante de ces travaux pour des berges dont la hauteur varie entre 4 sag. 50 et 7 sag. 50 (9 m. 60 et 16 mètres), revient en moyenne à 740 roubles, soit à peu près 867 francs par mètre courant.

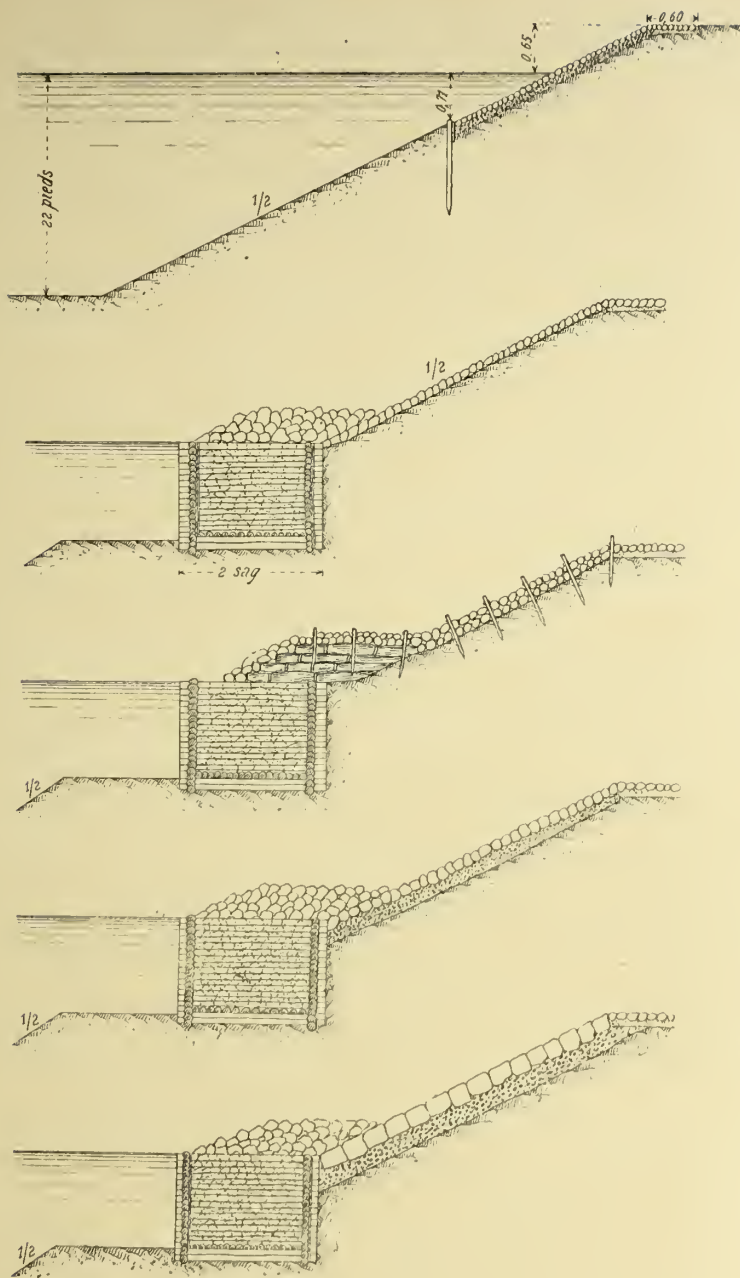
En 1890 on a exécuté des travaux de consolidation des berges en plusieurs endroits de la partie occidentale du canal Empereur Alexandre II, dans l'espace qui s'étend de la septième à la quatorzième verste à partir

de la ville de Ohlusselbourg, située à l'embouchure de ce canal dans la Néva, qui prend là son origine dans le lac Ladoga. Les berges y avaient été sensiblement endommagées par les vagues et la débâcle; les talus avaient perdu leur surface unie et leur pente régulière; à plusieurs places il y avait des excavations profondes. Après avoir remblayé ces dernières, on a aplani les inégalités des talus; ensuite une rangée de pieux a été enfoncée au niveau de l'étiage. Les pieux ont une longueur de 5 pieds (1 m. 52) et une épaisseur de 2 verchocs (0 m. 09); leur écartement est de 0 sag. 125 (0 m. 26). Derrière cette rangée de pieux, on a creusé dans le talus une tranchée d'une largeur de 0 sag. 20 (0 m. 45) et d'une profondeur de 0 sag. 25 (0 m. 53), qui a été remplie de grands galets servant de support à un perré à sec qui recouvre la partie adjacente du talus, sur une largeur de 0 sag. 50 (1 m. 07). Les perrés sont posés sur une couche de mousse. Plus haut, le talus est recouvert de gazon et le couronnement de la berge est formé par une bande de pavage sur gros sable, d'une largeur de 0 sag. 50 (1 m. 07). — La longueur totale des parties des berges du canal Alexandre II, consolidées en 1890, est de 2 708 sagènes (5 778 mètres). Ces travaux ont coûté 22 000 roubles (55 000 francs), c'est-à-dire 8 roubles à peu près la sagène courante ou 9 fr. 50 le mètre courant.

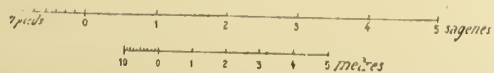
Dans quelques parties du canal maritime de Saint-Petersbourg, reliant l'embouchure de la Néva à la rade de Cronstadt, les berges ont été consolidées très soigneusement. Le canal qui prend son origine à la rive gauche de la Néva, tout près de l'embouchure de cette rivière dans le golfe de Finlande, traverse d'abord, sur une longueur de 2 verstes et demie (2 kilom. 67) quelques petites îles; puis, sur un parcours de même longueur, le canal est endigué du côté droit, tandis qu'à gauche règne un grand banc de sable; les 4 verstes (4 kilom. 27) suivantes sont endiguées des deux côtés; enfin, sur la partie restante du canal, d'une longueur de 16 verstes (17 kilom. 07), jusqu'à la rade de Cronstadt, il n'existe pas de digues. La profondeur du golfe y est de 12 à 20 pieds (5 m. 66-6 m. 09). Dans le chenal du canal, la profondeur est de 22 pieds (6 m. 70).

La vitesse avec laquelle les vapeurs circulent sur le canal ne doit pas dépasser 10 verstes et demie (11 kilom. 20) par heure. Les vagues soulevées par le vent sont quelquefois très fortes dans le canal et se brisent avec une grande violence sur les berges du canal et les talus des digues.

Dans la partie du canal qui traverse les petites îles Canonirsky, Volny et Goutonieff, les berges sont consolidées par des perrés à sec reposant sur une base de cailloux concassés. A une profondeur de 0 sag. 71 (1 m. 51) sous l'étiage, on a enfoncé dans le talus une rangée de pieux, avec des écartements de 0 sag. 50 (1 m. 07). Contre les têtes de ces pieux, on a appuyé deux rangs de planches horizontales au niveau de la surface du talus. Ces planches servent de soutien au pied du revêtement en perrés



Echelle



Travaux de consolidation des berges du canal maritime de St-Petersbourg.

à sec qui s'élève jusqu'à 0 sag. 65 (1 m. 59) au-dessus de l'étiage. Les pierres ont à peu près 0 sag. 10 (0 m. 21) de diamètre. L'épaisseur de la couche de cailloux concassés qui leur sert de base est de 0 sag. 08 (0 m. 17). Ce revêtement, qui existe depuis plus de six ans, s'est très bien conservé et n'a presque pas eu besoin de réparations ; il a coûté 24 roubles par sagène courante, ce qui fait à peu près 28 fr. 17 par mètre.

La défense des digues qui limitent le canal dans la partie du golfe dont la profondeur ne dépasse pas 12 pieds (3 m. 66) a été exécutée de différentes manières. Les talus des digues qui s'élèvent à 2 sagènes (4 m. 27) au-dessus de l'étiage reposent par le pied, au niveau de l'étiage, sur des caissons en bois charpenté remplis de pierres. D'abord on avait couvert les talus par un pavage au pied duquel on avait placé un enrochement reposant sur le caisson. Ce mode de défense revint à 44 roubles et demi par sagène courante du pavé et de l'enrochement, ce qui fait par mètre 61 fr. 64. Les caissons avec leur contenu de pierres étaient payés à part 40 roubles la sagène cube (10 fr. 07 le mètre cube). — Le choc des vagues a bientôt commencé à affouiller les talus sous le pavé qui s'enfonçait en plusieurs endroits. Alors on a essayé de mettre quelques couches de fascines sur les caissons et de couvrir ces fascines de pierres qui servaient d'appui à un pavé double dont on couvrait les talus. Ce mode de consolidation des berges dont le prix était de 50 roubles 15 copecs par sagène courante (55 fr. 59 le mètre) n'a pas non plus donné de bons résultats. Les fascines n'ont pas pu empêcher l'affouillement des talus. Alors on a augmenté les dimensions des pierres de pavage, en portant leur diamètre jusqu'à 0 sag. 15 (0 m. 52). En même temps, on leur a donné une base de cailloux concassés d'une épaisseur de 0 sag. 25 (0 m. 55). Ce revêtement protège parfaitement bien les berges et n'exige presque pas de réparations ; il revient à 60 roubles la sagène courante (70 fr. 42 le mètre). Aux têtes des digues qui sont exposées à de forts chocs des glaçons, les moellons du pavage ont été remplacés par de grandes pierres de granit finlandais d'une longueur de 0 sag. 40 (0 m. 85) et d'une épaisseur de 0 sag. 20 (0 m. 45). Ce revêtement a coûté 450 roubles par sagène courante (528 francs par mètre). Comme il a été mentionné plus haut, les talus des digues s'élèvent à une hauteur de 2 sagènes (4 m. 27) au-dessus de l'étiage ; leur inclinaison étant de 2 de base pour 1 de hauteur, leur largeur est de 4 sagènes et demie et, sur chaque sagène courante de talus, il y a 4 sagènes carrées et demie de pavage.

En dehors des canaux de Ladoga, la navigation à la vapeur, mais à vitesse très modérée, a encore lieu sur les autres canaux faisant partie du système fluvial Marie, notamment sur les canaux Onejsky, Novomariïnsky et Biélozersky. Pour la consolidation des berges de ces canaux on a employé, en partie les mêmes modes que sur les canaux de Ladoga, en partie de simples gazonnements.

Les autres canaux navigables en Russie ne sont pas fréquentés par des

bateaux à vapeur, et les travaux peu importants de consolidation des berges exécutés en quelques parties de ces canaux n'ont pour but que de protéger les talus contre les eaux de crues, les débâcles de glaces et le passage des chevaux de halage.

Les données précitées sur les travaux de consolidation des berges des canaux en Russie peuvent être résumées comme il suit :

Étant donnée l'absence d'exploitation à vitesse très considérable, les travaux de consolidation des berges sur plusieurs canaux ont pour but de les préserver des fortes dégradations auxquelles elles sont exposées par les fréquentes variations du niveau de l'eau, par le choc des vagues soulevées par les vents et par les débâcles.

Les berges à hauteur modérée dans les terrains sablonneux et argileux se conservent bien avec un revêtement en perrés à sec reposant par le pied sur un enrochement, soutenu par des pieux.

Pour la consolidation des berges d'une hauteur très considérable, le talus, avant d'être revêtu de perrés à sec, doit être subdivisé en plusieurs parties par des banquettes horizontales avec des fossés pavés pour faciliter l'écoulement des eaux de source.

Une couche en cailloux concassés d'une épaisseur suffisante placée sous le revêtement en perrés à sec contribue sensiblement à la conservation des berges, en empêchant les vagues d'affouiller les berges à travers le pavé.

St-Petersbourg, le 4/15 février 1892.

Texte de l'auteur.

V^{ème} CONGRÈS INTERNATIONAL DE NAVIGATION INTÉRIEURE
PARIS 1892

2^{me} QUESTION

ALIMENTATION DES CANAUX

DE LA BELGIQUE

RAPPORT

PAR

M. LEBOUcq

Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Ypres

PARIS

IMPRIMERIE GÉNÉRALE LAHURE

9, RUE DE FLEURUS, 9

1892

ALIMENTATION DES CANAUX

DE LA BELGIQUE

RAPPORT

PAR

M. LEBOUcq

Ingénieur des Ponts et Chaussées à Ypres.

I — EXPOSÉ DE LA QUESTION

Le réseau complet des canaux de la Belgique comporte un développement d'environ 960 kilomètres, se décomposant en 750 kilomètres de voies de grande navigation et 250 kilomètres de voies de petite navigation. La majeure partie de ce réseau se trouve établie à l'intérieur des trois bassins hydrographiques de l'Yser, de l'Escant et de la Meuse, et ce n'est pour ainsi dire qu'exceptionnellement que les canaux franchissent les crêtes de partage principales ou secondaires. Grâce à cette situation, l'alimentation de la plus grande partie du réseau des canaux se fait d'une manière naturelle, par l'utilisation directe des rivières et ruisseaux affluents des cours d'eau principaux et qui sont admis dans les canaux au moyen de simples prises d'eau manœuvrées en temps utile. Abstraction faite du canal de Charleroi à Bruxelles, dont l'alimentation artificielle se réduit encore à peu de chose, et ne s'applique qu'à une partie du parcours total, comme on le verra plus loin, les canaux actuellement en exploitation et alimentés artificiellement, n'ont guère qu'un développement total de 87 kilomètres environ, formant ainsi seulement les neuf centièmes du réseau complet. Encore ces canaux reçoivent-ils pendant une partie de l'année des appoints plus ou moins considérables des eaux naturelles rencontrées sur leur parcours.

L'étude de l'alimentation des canaux de la Belgique n'offre donc qu'une importance secondaire; elle présentera toutefois, peut-être, un certain intérêt par la description sommaire des moyens employés, d'une part pour fournir les eaux aux canaux alimentés exclusivement par des moyens naturels, et d'autre part pour compléter les ressources alimentaires dispo-

nibles dans la contrée, on pour suppléer à l'absence totale de ces ressources pour les canaux alimentés par des procédés artificiels.

C'est ce qui sera exposé aussi brièvement que possible dans la présente note.

II. — CANAUX ALIMENTÉS NATURELLEMENT

L'alimentation naturelle des canaux de la Belgique n'a nécessité, en aucun cas, la construction d'ouvrages d'art importants. En général les canaux sont alimentés par des ruisseaux, qui, échelonnés suivant leur parcours, y déversent les eaux des terres riveraines. Parfois les eaux des rivières et ruisseaux rencontrés sont admises en partie ou en totalité dans la voie navigable à alimenter, au moyen de simples barrages à poutrelles ou à vannes, n'offrant aucune particularité. Parfois encore la rivière est en libre communication avec le canal à alimenter, sans interposition de barrage régulateur; c'est ainsi qu'à Gand, par exemple, les eaux de la Lys et de l'Escaut entrent librement dans le canal de Gand à Ostende; ce dernier canal alimente à son tour d'autres voies navigables avec lesquelles il est en relation directe.

On conçoit que, dans ces conditions, il n'est pas possible d'être fixé, même d'une manière approximative, sur la consommation d'eau de ces canaux; surtout, que dans un assez grand nombre de cas, et notamment pour les voies navigables du bassin de l'Yser, les canaux de navigation sont utilisés pendant la période humide pour l'évacuation des eaux surabondantes de la contrée.

Il y a à signaler, toutefois, une particularité en ce qui concerne l'alimentation des voies navigables du bassin de l'Yser; pendant la période sèche, il arrive souvent que les sources de l'Yser se tarissent complètement; dans ce cas, l'alimentation de cette rivière et des canaux tributaires se fait au moyen des eaux du bassin de l'Escaut, par l'intermédiaire du canal de Gand à Ostende; cette alimentation se fait par différence de hauteur dans les côtes d'étiage.

Au moyen d'une simple manœuvre de barrage, il est donc possible d'envoyer les eaux d'un bassin hydrographique à l'autre, grâce à l'existence du canal de Gand à Ostende, qui s'étend dans les plaines basses du Nord des Flandres, en contournant la ligne de faite qui sépare les bassins de l'Yser et de l'Escaut.

Il est inutile d'entrer dans des détails au sujet de l'emplacement et du mode de fonctionnement des prises d'eau pour les divers canaux des trois bassins hydrographiques de la Belgique. Étant donnée la simplicité des moyens pour se procurer les ressources nécessaires à l'alimentation des canaux par les seules eaux naturelles, on conçoit que le prix de revient des eaux alimentaires peut être considéré comme négligeable et qu'il n'y a pas lieu de s'occuper davantage de cette question.

Cette alimentation naturelle, tout en constituant un système éminemment économique, ne laisse pas que de présenter certains inconvénients par suite de son irrégularité; il arrive ainsi qu'en été, lorsque le débit des sources diminue, à la suite d'une période sèche, les canaux s'appauvrissent considérablement, et le niveau de la flottaison tombe à une cote préjudiciable aux intérêts de la navigation. En hiver, la surabondance des eaux et les nécessités d'une rapide évacuation des crues viennent également contrarier la batellerie dans une forte mesure.

Ce double inconvénient se fait particulièrement sentir pour les voies navigables du bassin de l'Yser et pour quelques-unes du bassin de l'Escaut; pour d'autres canaux cet inconvénient n'existe pas; il en est notamment ainsi pour le réseau des canaux de la Campine et le canal de Maëstricht à Bois-le-Duc; ces canaux sont alimentés au moyen d'une prise d'eau pratiquée à la Meuse à Maëstricht, mais ne servent pas à l'évacuation des eaux.

Le réseau des canaux alimentés par la prise d'eau de Maëstricht est d'environ 564 kilomètres, en y comprenant environ 112 kilomètres de canaux de la Hollande; il présente une surface liquide d'environ 580 hectares. L'expérience a montré que la consommation de tous ces canaux est de 4^m³,5 par seconde¹, soit un peu plus de 12 litres par seconde et par kilomètre; cette consommation représente donc une tranche liquide de 6 à 7 centimètres par 24 heures pour toute l'étendue du réseau. On ne possède pas de données exactes sur la manière dont cette consommation totale se répartit entre les divers éléments dont elle se compose et quel est le volume d'eau nécessaire pour faire face, d'une part, aux dépenses occasionnées par la navigation, et d'autre part, à celles occasionnées par les pertes permanentes, telles que l'évaporation, les filtrations à travers les digues, etc.

III. — CANAUX ALIMENTÉS ARTIFICIELLEMENT

Généralités. — La détermination exacte et préalable des divers éléments dont se compose la consommation d'eau des canaux, est une question dont la réponse ne paraît pas susceptible d'être généralisée. Il semble donc inévitable, lorsqu'on se trouve en présence d'un canal à alimenter par des procédés artificiels, qu'avant d'arriver à la solution exacte et rationnelle du problème, il faille traverser une période transitoire de tâtonnements. Cette incertitude dans laquelle on se trouve provient de la difficulté d'attribuer à chaque élément de consommation sa juste valeur dans le cas particulier qu'on a à résoudre.

On peut diviser les divers éléments dont se compose la consommation d'eau des canaux en deux grandes catégories :

1. Voir l'ouvrage intitulé : *Voies navigables de la Belgique, Recueil de renseignements*, tome I, page 213.

- 1° Les consommations intermittentes ou occasionnées par la navigation;
- 2° Les consommations permanentes.

A la première catégorie se rattachent les pertes occasionnées par le passage des bateaux aux écluses; les divers facteurs qui concourent à la production de ces pertes sont éminemment variables pour chaque canal: ils dépendent du nombre des bateaux fréquentant la voie navigable, de leur tonnage, du lieu de croisement, de l'emplacement des ports et rivages de chargement et de déchargement, et du mode de navigation par bateau séparé ou par train de bateaux; ils dépendent encore du nombre et de l'espacement des écluses et du volume d'eau nécessaire à chaque écluse.

A cette catégorie il convient d'ajouter également les consommations d'eau occasionnées par suite d'accidents aux digues ou aux ouvrages d'art, et nécessitant la baisse partielle ou totale d'un ou de plusieurs biefs, et enfin la consommation d'eau nécessaire au remplissage du canal après les chômages périodiques.

A la seconde catégorie se rattachent les pertes occasionnées par l'insuffisance d'étanchéité des portes d'écluses, des déversoirs, des digues, etc., et, le cas échéant, les volumes absorbés par les prises d'eau concédées; et finalement les pertes d'eau provoquées par l'évaporation et par l'imbibition dans les terres.

Cette énumération fait voir combien le problème de l'alimentation artificielle des canaux présente d'indétermination; car si, d'une part, il est difficile d'évaluer le trafic probable d'une voie navigable nouvelle, et de supputer les modifications et les perfectionnements qui seront successivement apportés au mode de navigation, il est tout aussi malaisé, d'autre part, de déterminer avec quelque certitude l'importance des consommations permanentes, qui dépendent essentiellement de la situation particulière dans laquelle se trouve la voie navigable, de son orientation, de la nature des terrains traversés, etc.

Lorsqu'on étudie l'alimentation artificielle d'un canal, après s'être rendu compte des divers besoins de la consommation d'après les circonstances particulières dans lesquelles on se trouve, on doit projeter la création des ressources nécessaires pour faire face à ces besoins; ceci constitue un point particulièrement délicat; car si on doit se préoccuper de créer les ressources nécessaires et suffisantes, on doit bien se garder de tomber dans l'exagération à laquelle on est naturellement enclin à cause de l'indétermination du problème et du peu de confiance que les calculs préalables inspirent.

Dans cet ordre d'idées, il convient surtout de se demander si dans l'évaluation approximative de la consommation intermittente, on doit se baser sur la capacité totale du trafic de la voie navigable ou seulement sur un trafic restreint résultant des conditions particulières de la région traversée; en créant dès l'origine toutes les ressources nécessaires pour faire face au plus grand trafic possible, on se met nécessairement à l'abri de

toute éventualité et on assure d'emblée l'avenir de la voie navigable ; seulement il y a à examiner si une semblable solution ne donne pas lieu à de trop fortes dépenses et si on n'immobilise pas un capital important pendant de trop longues années. Cette considération acquiert surtout une grande importance, lorsqu'on se propose d'alimenter au moyen de machines élévatoires ; en exagérant dès l'origine la puissance des engins mécaniques, on peut être amené à devoir exploiter pendant de longues années dans des conditions défectueuses au point de vue de l'effet utile, et après ce laps de temps, lorsque le trafic a atteint le développement final prévu, se trouver en présence de machines ou bien déjà fortement détériorées à la suite d'un long usage et dont le renouvellement est devenu indispensable, ou bien, dans le cas contraire, devoir forcément renoncer à l'application d'un système nouveau plus perfectionné, plus économique et en même temps mieux approprié au travail à fournir.

Nous exposerons maintenant rapidement ce qui a été fait ou ce qui est projeté pour l'alimentation artificielle de quelques canaux de la Belgique.

Les canaux alimentés artificiellement sont au nombre de sept :

1° Le canal de Pommerœul à Antoing ;

2° Le canal d'Atti à Biaton ;

3° La partie belge du canal de l'Espierres ;

4° Le canal de Bossuyt à Courtrai ;

5° Le canal de Roulers à la Lys ;

6° Le canal de Charleroi à Bruxelles ;

7° Et finalement le canal de la Lys à l'Yperlée, encore en voie de construction.

Tous ces canaux, sauf celui de Roulers à la Lys, sont à bief de partage.

Nous ne parlerons pas des canaux indiqués sous les numéros 2°, 5°, 4° ; les deux premiers appartiennent à des sociétés concessionnaires, et le troisième a seulement été repris récemment par l'État.

A. — Canal de Pommerœul à Antoing.

§ I. *Description.* — Ce canal à bief de partage franchit la ligne de faite secondaire qui sépare les bassins de l'Escant et de la Haine, et sert de jonction entre le canal de Mons à Condé et l'Escant, sans sortir des limites du territoire belge. Sa longueur totale est de 25 kilomètres environ, dont 15 pour le bief de partage ; le mouillage dans ce bief est tenu à 2 m. 40 au-dessus du plafond ; il a été ouvert à la navigation en 1826.

Le premier bief du canal est en libre communication avec le canal de Mons à Condé ; la différence de niveau entre ce bief et le bief de partage est rachetée au moyen de quatre écluses espacées d'environ 400 mètres l'une de l'autre. L'alimentation est assurée pendant la plus grande partie de l'année, sauf les cas de sécheresse et de remplissage après les chômages,

par des sources qui se sont fait jour lors du creusement du bief de partage dans les terrains calcaires situés entre Blaton et Peruvelz.

§ II. *Machines d'Harchies.* — Lorsque l'alimentation naturelle devient insuffisante, on y supplée au moyen de machines élévatoires établies à Harchies, près de la troisième écluse. On se sert pour cette alimentation des eaux du canal de Mons à Condé; une rigole d'environ 800 mètres de longueur amène ces eaux au pied des machines; elles sont ensuite relevées et déversées dans une nouvelle rigole supérieure de même longueur que la précédente, qui les conduit au bief de partage. Il y a lieu de remarquer d'ailleurs que le canal de Mons à Condé est toujours largement alimenté au moyen des eaux de plusieurs rivières.

Les anciennes machines d'alimentation datant de l'époque de l'ouverture du canal ont été remplacées en 1881 par de nouvelles établies dans les mêmes bâtiments. La planche n° 1 donne l'ensemble des dispositions adoptées. Pour les besoins d'alimentation de ce canal, l'expérience avait démontré qu'en temps normal, pour maintenir les cotes de flottaison réglementaires, des pompes donnant un débit de 12 mètres cubes par minute pouvaient parfaitement suffire. On a installé en conséquence deux pompes foulantes à piston plongeur, pouvant fonctionner ensemble ou séparément et capable, chacune d'élever le volume d'eau ci-dessus. La hauteur totale d'élévation, abstraction faite des résistances passives, est de 9 m. 50.

Chaque pompe est actionnée par une machine à vapeur à action directe et à simple effet établie verticalement au-dessus; le piston plongeur et le piston à vapeur sont fixés à une même tige et la course de ces pistons est de 2 m. 50. Le nombre de coups de piston est fixé à 6 par minute, de sorte que chaque coup de piston élève un volume de 2 mètres cubes.

Le corps de pompe, entièrement en fonte, présente des surfaces ondulées renforcées au moyen de nervures; les parois ont une épaisseur uniforme de 55 millimètres; les nervures du corps de pompe font saillie de 14 centimètres et ont une épaisseur de 45 millimètres à la base et de 55 millimètres au sommet; celles des coffres à clapets sont en saillie de 7 centimètres et présentent des épaisseurs de 56 millimètres et de 52 millimètres. Les boulons d'entretoises sont en fer forgé de 50 millimètres de diamètre. Les soupapes entre le corps de pompe et la conduite verticale sont à clapets, la chambre des soupapes est à parois planes, elle a 1 m. 75 de hauteur et 1 m. 60 de largeur; les clapets, au nombre de 21, sont en cuir, recouverts de tôle et battant contre le châssis en fonte; la longueur des clapets dans le sens de la charnière est de 50 centimètres et leur hauteur de 20 centimètres.

La section des clapets réunis, mesurée perpendiculairement à la veine fluide, est égale à la section du piston plongeur, dont le diamètre est 1 m. 10.

L'étanchéité du piston avec le corps de pompe est assurée au moyen de cuirs emboutis. Une soupape pour l'évacuation de l'air est montée sur le corps de pompe pour empêcher les coups d'air pendant le mouvement de descente du piston plongeur.

La vapeur est fournie par trois générateurs système de Naeyer, de la force de 50 chevaux, établis à proximité des machines.

L'eau, à la sortie de chaque pompe, est élevée dans une conduite spéciale en fonte de 1 m. 10 de diamètre, jusqu'au chenal supérieur.

Ce genre de machines paraît assez encombrant, et les pompes ont l'inconvénient de se trouver dans une cave où elles sont constamment sous eau; en outre la conduite en est difficile, et surtout la mise en marche demande de grandes précautions pour éviter des chocs.

L'installation de ces machines et l'appropriation des anciens bâtiments ont coûté environ 80 000 francs; leur entretien revient à environ 500 francs par an. Aux essais on a obtenu une consommation de 5 kil. 64 et 4 kil. 15 de combustible par heure et par cheval, mesuré en eau montée; toutefois en travail courant cette consommation est supérieure. C'est ainsi que pendant ces dix dernières années, le cube d'eau élevé a été de 4 768 824 mètres cubes et que la consommation de charbon s'est élevée pendant cette période à 967 700 kilogrammes, ce qui équivaut à une consommation de 5 kil. 77 par heure et par cheval en eau montée.

Cette plus grande consommation tient probablement en partie à l'intermittence du travail et aux fréquents rallumages des chaudières; cette circonstance est de nature à influencer défavorablement le chiffre de la consommation de combustible. Le coût total du combustible pendant la même période a été de 16 581 francs; le mètre cube d'eau revient ainsi à 0 fr. 004 et le prix de 1 000 mètres cubes élevés à 1 mètre de hauteur revient à 0 fr. 45.

B. — Canal de Roulers à la Lys.

§ I. *Description.* — Ce canal ne traverse aucune crête de partage; il suit la vallée de la petite rivière « La Mandel » à partir de Roulers, et se dirige ensuite presque en ligne droite vers la Lys, au village d'Oyghem. A l'origine il ne comprenait qu'un seul bief à plafond horizontal d'environ 16 1/2 kilomètres de longueur et terminé du côté de la Lys par une écluse à triple sas rachetant une chute d'environ 7 m. 10; la largeur au plafond est de 6 mètres et le mouillage réglementaire de 2 m. 50.

Ce canal est alimenté pendant les deux tiers de l'année environ, au moyen des eaux de « La Mandel », qui s'y déversent librement à Roulers. Lorsque le débit de cette rivière devenait insuffisant, on y suppléait, jusque dans ces derniers temps, au moyen d'une pompe centrifuge, actionnée par la vapeur, et puisant l'eau dans la Lys pour la déverser dans le canal.

§ II. *Ancienne machine d'Oyghem.* — Cette installation se trouvait dans un bâtiment élevé à l'embouchure du canal, près de la Lys, à l'emplacement actuellement encore occupé par les nouvelles machines (voir planche n° II, fig. 1). La pompe centrifuge et la machine à vapeur système Ingliss

qui doit l'actionner sont d'ailleurs encore maintenues comme appareils de réserve dans les nouvelles installations.

L'eau de la Lys amenée à un puisard situé à l'extérieur du bâtiment, en face de la pompe centrifuge (puisard actuellement démoli et remplacé par un autre), au moyen d'un aqueduc, est refoulée dans un second puisard et de là au moyen d'un second aqueduc dans le canal. Cette disposition, qui est encore maintenue actuellement, est figurée planche II, fig. 2.

L'ancienne pompe centrifuge aspire l'eau à 1 m. 17 de hauteur environ au moyen d'un tuyau en fonte de 55 centimètres de diamètre et de 10 mètres de longueur, muni d'un clapet de pied; elle refoule à 5 m. 95 de hauteur environ par un tuyau en fonte de 60 centimètres de diamètre et de 61 mètres de longueur.

A l'allure régulière de la machine à raison de 65 tours par minute, cette pompe débite 228 litres par seconde, constatés d'après un cubage direct.

Le mouvement est transmis à la pompe au moyen d'un engrenage en faisant servir le volant de la machine de roue dentée; les dents du volant et du pignon sont en bois. Pour empêcher tout choc nuisible, que l'introduction d'un corps étranger dans la pompe pourrait occasionner à la machine, le pignon n'est pas calé sur l'arbre, mais entraîne celui-ci par friction; le frottement est réglé au moyen d'un ressort.

Malgré cette précaution, ce système de transmission est fort peu recommandable et donne lieu à des dépenses d'entretien assez considérables. Ces installations ont été terminées en 1874; les dépenses de premier établissement se sont élevées à la somme de 86 800 francs, en y comprenant la prise d'eau, les aqueducs et puisards d'aspiration et de refoulement, les tuyaux de conduite, les bâtiments, deux chaudières avec l'outillage, la machine, la pompe, la cheminée, etc.

L'entretien des bâtiments de la machine, de la pompe et des générateurs, ainsi que les fournitures de charbon, huile, graisses, etc.; en un mot les dépenses de toute espèce se sont élevées, pendant la période de 1880 à 1891, à la somme moyenne de 4 420 francs par an. D'un autre côté, le cube d'eau moyen élevé annuellement à 7 m. 10 de hauteur pendant cette période a été de 1 165 556 mètres cubes, de sorte que le prix du mètre cube d'eau élevée est revenu à 0 fr. 0058 et le prix de 1 000 mètres cubes élevés à 1 mètre de hauteur à 0 fr. 55 en moyenne.

§ III. *Roue élévatoire de Cachtem.* — Dès les premières années de l'ouverture du canal, on résolut d'améliorer les conditions de navigabilité; le bief unique fut divisé en deux par la construction d'une nouvelle écluse à Cachtem, à 4 kilomètres de l'origine du canal; la flottaison du bief supérieur fut fixée à 75 centimètres au-dessus de celle du bief s'étendant entre Cachtem et la Lys, de sorte que la profondeur d'eau maxima dans le premier bief était portée à 5 m. 25 au-dessus du plafond, tandis qu'elle restait de 2 m. 50 dans le deuxième bief, comme il a été dit précédemment.

Les circonstances locales se prêtaient aisément à ce relèvement du plan d'eau, le canal étant en grande partie en déblai sur ce parcours. Cette modification présentait d'ailleurs les avantages suivants : on avait constaté depuis la construction du canal que le plafond creusé dans le sable boulant sur une certaine longueur à partir de l'origine, avait une tendance constante à se relever sous l'action des sources, la nappe aquifère du sol se trouvant au-dessus du niveau de flottaison primitif; de là la nécessité d'exécuter de fréquents dragages. En relevant le plan d'eau de 75 centimètres on parvenait à équilibrer facilement la contre-pression des sources et à faire disparaître ce fâcheux inconvénient. D'un autre côté, ce bief n'ayant que 6 mètres de largeur au plafond, et le port le plus important se trouvant à Roulers, à l'origine même du canal, c'est dans ce bief que les bateaux se rencontraient le plus fréquemment et ils étaient obligés de se réfugier dans les gares d'évitement afin de se livrer mutuellement passage ; de là des retards et des désagréments d'autant plus sérieux pour la batellerie que la navigation devenait active; le relèvement du plan d'eau a mis fin à cet état de choses en permettant le croisement des bateaux en un point quelconque du bief.

Pour assurer en tout temps la nouvelle cote de mouillage dans le premier bief, il a encore fallu recourir à des installations mécaniques pour relever les eaux.

On s'est proposé de puiser les eaux dans le second bief pour les refouler dans le bief amont; eu égard à la faible différence de niveau, la machine élévatoire qui a semblé mériter la préférence est une roue à palettes emboîtée dans un coursier circulaire et plongeant dans l'eau d'aval, le mouvement de la roue faisant monter l'eau dans le coursier et passer dans le bief amont; cette roue est actionnée par une machine à vapeur.

Les dispositions d'ensemble et de détail adoptées pour l'installation de la machine élévatoire sont indiquées sur la planche numéro III.

Le bâtiment est établi sur la rive gauche du canal latéralement à l'écluse de Cachtem, et comprend la chambre de la roue, la chambre de la machine, la chambre des générateurs et un magasin à charbons.

La roue est entièrement construite en fer et fonte; elle a 4^m,40 de diamètre extérieur; les aubes, au nombre de 20, ont 1^m,20 de longueur dans le sens du rayon, 1^m,60 de longueur suivant leur développement, et 0^m,55 de largeur; elles sont formées de tôles de fer de 5 millimètres d'épaisseur rivées sur des fers plats fixés à une couronne en fonte.

Elles ont un profil courbe, dans le but d'amortir autant que possible le choc à leur entrée dans l'eau.

Le coursier est en pierre de taille de petit granit et le jeu, entre la roue et les parements du coursier, presque nul. En vue de permettre le plus possible la réduction de ce jeu, les paliers supportant l'axe de la roue peuvent être légèrement relevés au moyen de clavettes et les côtés extérieurs des fers plats des aubes sont garnis de lattes en bois. On

remarquera que le coursier ne se relève pas jusqu'à la hauteur de la reteme d'amont; une porte automobile s'ouvrant vers l'amont empêche le retour des eaux lorsque la roue est au repos; aussitôt que la roue se met en marche, cette porte s'ouvre. Ce dispositif présente l'avantage d'éviter la surélévation de l'eau en profitant de la dénivellation produite par le courant dans l'aqueduc de refoulement.

Le mouvement est transmis au moyen d'une roue dentée de 5 mètres de diamètre; cette roue dentée est entraînée par un pignon monté sur l'axe d'une poulie qui reçoit, à son tour, son mouvement au moyen d'une courroie montée sur le volant de la machine.

La machine à vapeur est horizontale de la force de 6 chevaux à condensation et à détente variable; le diamètre du cylindre est de 225 millimètres, la course du piston de 45 centimètres, la vitesse du piston est de 1^m,20 par seconde et le nombre normal de tours de la machine de 80 par minute. Le nombre de tours de la roue élévatoire est au nombre de tours de la machine dans le rapport de 1 : 10.

La pompe alimentaire des générateurs fonctionne continuellement, et au moyen d'un robinet placé auprès des chaudières, le machiniste peut régler leur alimentation régulière sans être obligé de se rendre dans la chambre de la machine.

Les générateurs timbrés à 6 atmosphères sont au nombre de deux, ayant chacun une surface de chauffe de 14 mètres carrés, capable de fournir seul toute la vapeur nécessaire au fonctionnement normal de la machine; ils sont à retour de flamme et foyer intérieur démontable.

L'ensemble des installations, y compris les bâtiments, la cheminée, les aqueducs d'amenée et de refoulement, l'outillage et la maison du préposé à la conduite de la machine s'est élevé à la somme globale de 68 000 francs.

Ces travaux ont été exécutés en 1885.

Pendant la période de 1884 à 1891, la machine a travaillé en moyenne pendant 488 heures par an, élevant un minimum de 500 litres par seconde à l'allure normale de 80 tours par minute; les frais d'entretien des installations, les dépenses en huiles, graisses, combustible, etc., se sont élevés en moyenne à 558 francs par an; le prix du mètre cube d'eau élevée à 75 centimètres revient ainsi à 0 fr. 00102.

Il y a lieu de remarquer que l'intermittence du travail de la machine donne lieu à une consommation anormale de combustible et augmente par conséquent le prix du mètre cube d'eau élevée. Il résulte d'expériences directes que la machine, à l'allure régulière de 80 tours, consomme 20 kilogrammes de charbon par heure, tandis qu'en réalité ce nombre s'élève à 50 kilogrammes environ, par suite des fréquents rallumages de la chaudière.

Le rendement total de l'installation, c'est-à-dire le rapport entre le

travail effectif en eau élevée et le travail indiqué au moyen de diagrammes levés sur le cylindre de la machine, est de 0,70.

L'effet utile de la roue, c'est-à-dire le rapport entre le travail effectif en eau élevée et le travail effectif transmis à la roue, est de 84 pour 100.

En résumé, cette installation paraît très recommandable pour de faibles élévations, comme dans le cas actuel.

§ IV. *Nouvelles machines d'Oyghem.*

Depuis l'exécution des travaux de relèvement du plan de flottaison du bief supérieur du canal, et en présence de l'accroissement du mouvement de la navigation, l'ancienne machine établie à Oyghem n'était plus à même d'assurer dans de bonnes conditions l'alimentation du canal. L'expérience ayant fait reconnaître que cette ancienne machine était d'un entretien coûteux par suite des transmissions par engrenages à dents de bois, système peu compatible avec la vitesse de rotation de la pompe, on a résolu d'avoir recours à des installations entièrement neuves.

Voici les prévisions de consommation sur lesquelles on s'est basé; la superficie de la nappe liquide totale depuis l'exécution de divers travaux d'amélioration est de 27 h., 75 a., 79 c.

1° Pertes permanentes :

Évaporation : $277\,579^{\text{m}^2},00 \times 0^{\text{m}},005$	852 ^m ,137
Imbibition, filtrations, etc., $277\,579^{\text{m}^2},00 \times 0^{\text{m}},05$	8521 370
Pertes par les portes d'écluse, déversoir, etc. (résultat obtenu d'après un jaugeage direct)	2500 000
Total.	11655 ^m ,507

2° Pertes dues à la navigation :

On a admis que le trafic maximum serait atteint pour un mouvement journalier de 10 bateaux de 90 tonnes qui est le tonnage moyen actuellement observé. Les consommations étant variables suivant que les bateaux sont chargés ou vides et en remonte ou en descente, on a observé, d'après les statistiques de la navigation, que sur M bateaux passant par jour à l'écluse d'Oyghem, il y en a $\frac{M}{2}$ en remonte et $\frac{M}{2}$ en descente; parmi les $\frac{M}{2}$ en remonte, il s'en trouve $\frac{M}{2} \times \frac{4}{5}$ à charge et $\frac{M}{2} \times \frac{1}{5}$ à vide; parmi les $\frac{M}{2}$ en descente, il s'en trouve $\frac{M}{2} \times \frac{2}{5}$ à charge et $\frac{M}{2} \times \frac{3}{5}$ à vide. De plus, pour abréger la durée de passage à l'écluse triple, on a renoncé depuis longtemps à faire usage des bassins d'épargne.

Dans ces conditions, un mouvement journalier de 10 bateaux nécessitera les cubes d'eau suivants, en supposant que les sas aient le temps de se vider complètement entre le passage de deux bateaux et sans compter sur la coïncidence des bateaux montants et descendants :

4 bateaux chargés en remonte.	12 510 ^{m³} ,500
1 bateau vide en remonte.	2 987 625
2 bateaux chargés en descente.	5 460 555
5 bateaux vides en descente.	5 460 825
Total.	<u>24 219^{m³},505</u>

La consommation d'eau totale sera donc au maximum : 11 655^{m³},507 + 24 219^{m³},505 = 55 875^{m³},012, soit 56 000 mètres cubes en nombre rond.

Les figures 5, 4, 5, 6 et 7 de la planche n° II indiquent les dispositions qui ont été adoptées pour les installations mécaniques. Les anciens bâtiments renfermant la première machine d'alimentation ont été agrandis et appropriés pour abriter les nouveaux appareils.

La vapeur est produite par trois générateurs multitubulaires, système de Naeyer, timbrés à 8 atmosphères, ayant chacun une surface de chauffe de 102 mètres carrés, capable de vaporiser 1 100 kilogrammes de vapeur par heure sous une pression de 7 atmosphères. Chaque générateur a son robinet de prise de vapeur, de sorte que l'une quelconque des chaudières peut fournir la vapeur à l'un quelconque des moteurs. Une conduite générale de vapeur alimente l'ancienne machine ainsi que les deux nouvelles.

L'alimentation des chaudières se fait au moyen d'une petite pompe Worthington, qui foule l'eau d'alimentation dans un réchauffeur avant son introduction dans les chaudières.

Les carnaux des trois chaudières débouchent dans une cheminée commune.

Les pompes sont du système dit « pompes centrifuges à double palier » ; chacune est capable d'élever environ 550 litres par seconde à 7 m. 10 de hauteur, à la vitesse de 340 tours par minute. Le diamètre du disque est de 890 millimètres, et la largeur de l'ouverture de 40 millimètres. Chaque pompe est munie d'un tuyau d'aspiration venant du puisard d'aspiration et d'un tuyau de refoulement débouchant dans le puisard de refoulement. Un éjecteur à vapeur monté sur chaque pompe permet l'amorçage en 8 minutes. Un robinet monté au sommet du siphon peut faire tomber toute la colonne d'eau après l'arrêt des machines.

Le moteur de chaque pompe est une machine compound ; il comprend un petit cylindre vertical, et un grand cylindre horizontal ; les deux bielles attaquent un même coude, le tuyau raccordant les deux cylindres sert de réservoir de vapeur.

Les dimensions principales sont pour le grand cylindre : diamètre = 550 millimètres, course = 45 centimètres, et pour le petit cylindre : diamètre = 55 centimètres, course = 45 centimètres : le nombre de tours est de 155 par minute. Grâce à l'économie résultant de l'emploi de deux cylindres, on a pu supprimer le condenseur.

La transmission du mouvement du moteur à la pompe se fait par une courroie de 40 centimètres de largeur et 15 millimètres d'épaisseur.

L'installation complète des machines a été terminée en 1891; le coût s'est élevé à la somme de 88 500 francs, y compris les travaux de démolition nécessaires pour permettre le placement des nouveaux appareils ainsi que l'exécution des fondations. D'autre part, la reconstruction et l'appropriation des bâtiments, la cheminée, le nouveau puisard, et quelques autres aménagements ont coûté 45 066 fr. 54. Le montant total des installations s'est donc élevé à 131 566 fr. 54.

D'après les essais très complets des pompes et des machines auxquels il a été procédé par M. l'ingénieur Bouchaert, chargé du service du canal, et à l'obligeance duquel nous devons ces renseignements, il résulte que ces installations sont établies dans des conditions très satisfaisantes et qu'elles seront de nature à assurer l'alimentation de la voie navigable pour une longue période d'années.

D'après ces essais, qu'il serait trop long de détailler ici, la consommation de charbon par heure et par cheval indiqué est de 1 k. 45; la consommation par heure et par cheval en eau élevée est de 5 k. 25; le rendement total de l'installation, c'est-à-dire le rapport du travail moyen en eau élevée au travail indiqué est de 0.44.

Le jaugeage du débit des pompes a été fait en mesurant l'eau passant par un orifice noyé pratiqué dans un barrage et a pu se faire avec une grande exactitude.

En résumé, la consommation d'eau journalière a été évaluée à 36 000 mètres cubes; dans les circonstances les plus défavorables, les trois pompes centrifuges peuvent donner aisément ensemble 900 litres par seconde, et par conséquent fournir en 11 heures environ toute l'eau nécessaire pour faire face à ces prévisions.

En outre le mouillage du bief inférieur étant de 2^m,50, soit 30 centimètres environ de plus que ce qui est exigé pour la navigation, on peut ainsi emmagasiner constamment l'appoint fourni par la « Mandel » et soulager d'autant le travail des machines.

C. — Canal de Charleroi à Bruxelles.

§ I. *Description.* — Le canal de Charleroi à Bruxelles réunit la Sambre au canal de Bruxelles au Rupel, il est à bief de partage et traverse la ligne de faite qui sépare les bassins de l'Escaut et de la Meuse; sa longueur est de 74 kilomètres environ.

Lorsqu'il fut ouvert à la navigation en 1852, il était entièrement à petite section; bientôt l'importance de cette voie de communication fit reconnaître la nécessité de sa transformation progressive en canal à grande section.

L'alimentation en grande partie naturelle de ce canal, est encore ce qu'elle était à l'origine, mais les importantes transformations qu'a subies cette voie navigable, ainsi que la construction du canal du centre destiné à

relier le canal de Charleroi à Bruxelles par l'intermédiaire des embranchements, au canal de Mons à Condé, sont venues modifier complètement les premières conditions d'alimentation, et ont montré la nécessité d'améliorer et d'augmenter dans une notable mesure les ressources alimentaires à fournir.

Voici l'état de la question d'après une note qu'a bien voulu nous remettre M. l'ingénieur Lefebvre, chargé de l'étude des améliorations à apporter à cette voie navigable.

Au point de vue de l'étude de l'alimentation, le canal a été divisé en cinq sections, eu égard aux cours d'eau rencontrés, utilisés ou susceptibles d'être utilisés. (Voir Planche IV, fig. 1.)

Le canal est actuellement à grande section depuis la Sambre jusqu'à l'écluse 15 exclusivement; il en est de même des embranchements du centre qui s'étendent de l'amont de l'écluse 15 jusqu'aux bassins de Bellecourt, de la Croyère, de la Louvière et de Houdeng, et aboutissent en outre à l'ascenseur de la Louvière formant l'extrémité amont du canal du Centre. Le mouillage de 2^m,40 nécessaire aux grands bateaux ayant 2^m,10 de tirant d'eau pourra être réalisé sur toute cette étendue à partir de septembre 1892. Les écluses n^{os} 1 à 12 ont 5^m,20 de largeur, 45^m,50 entre les pointes des buses et 40^m,80 de longueur utile; elles sont munies de portes intermédiaires permettant de réaliser des sas de 19 mètres de longueur utile et de 25^m,64 entre les pointes des buses, pour le passage des bateaux de 70 tonnes fréquentant actuellement la partie non encore transformée.

De l'écluse n^o 15 à Bruxelles les écluses ont 2^m,70 de largeur, 21^m,50 entre les pointes des buses et 19 mètres de longueur utile (sauf l'écluse n^o 54 dont les travaux de mise à grande section sont en cours d'exécution) et ne permettent que le passage de bateaux jaugeant 70 tonnes; la hauteur de chute est en moyenne 2 mètres sur la 2^e section; 2^m,40 sur la 3^e et la 4^e section; et 2^m,80 sur la 5^e section. Les écluses de 2^m,40 de chute sur la 5^e section sont munies de bassins épargnant environ 1/4 de l'éclusée.

(a). CONSOMMATION INTERMITTENTE

§ II. *Consommation d'eau.* — Pour déterminer la consommation d'eau occasionnée par le sasement des bateaux, comme il s'agit ici d'un canal en exploitation, on a pu se guider sur les statistiques du mouvement de la navigation pour fixer le nombre et le tonnage des bateaux, la direction de leur marche, les endroits de chargement et de déchargement, etc.

Le tableau suivant indique le mouvement maximum à l'époque où la navigation est la plus active; ce maximum se produit vers le mois de mai.

NUMÉ- ROS des écluses.	GRANDS BATEAUX ÉCLUSÉS						PETITS BATEAUX ÉCLUSÉS						OBSERVATIONS.
	EN REMONTE			EN DESCENTE			EN REMONTE			EN DESCENTE			
	à vide.	à charge.	Total.	à vide.	à charge.	Total.	à vide.	à charge.	Total.	à vide.	à charge.	Total.	
5	5	5	8 ¹	1	7	8 ¹	4	6	10	2	8	10	L'origine des embarras du Centre est immédiatement en amont de l'écluse 15.
9	»	4	4 ¹	»	4	4 ¹	1	15	16	6	10	16	
11	»	4	4 ¹	»	4	4 ¹	1	15	16	6	10	16	
REF de partage.	EN DESCENTE.			EN REMONTE.			EN DESCENTE.			EN REMONTE.			
12	»	1	1 ¹	»	1	4 ¹	1	15	16	6	10	16	
15	»	»	»	»	»	»	»	25	25	10	15	25	
54	1 ²	1 ²	2 ²	»	2 ²	2 ²	»	20	20	5	15	20	

1. Ces nombres comprennent l'augmentation du mouvement qui se produira dès l'achèvement du canal du Centre; la navigation de ce chef est évaluée à 4 bateaux chargés dans chaque sens.

2. Après la mise à grande section de l'écluse 54, le nombre journalier des grands bateaux est évalué à 2 bateaux dans chaque sens.

Remarque : Eu égard à la coïncidence des bateaux à leur passage aux écluses, il résulte des observations que l'on est bien près de la vérité en admettant :

1^o) Pour les grandes écluses, un nombre total d'éclusées compris entre $1/2$ et les $2/3$ du nombre total des bateaux éclusés;

2^o) Pour les petites écluses, un nombre total d'éclusées sensiblement égal aux $3/4$ du nombre total des bateaux éclusés;

3^o) Pour les écluses à grande section, que le nombre de petits bateaux éclusés deux à deux est généralement égal aux $3/4$ du nombre total des petits bateaux.

— Si au moyen de ces données on calcule les dépenses d'eau dues au sasement des bateaux sur le versant de la Sambre à l'écluse n^o 11, et sur le versant de la Senne à l'écluse n^o 12, on trouve les nombres inscrits aux diagrammes de la planche IV.

On remarquera en outre que :

- 1^o) Le volume d'une éclusée dans le grand sas est : 45,50
 $\times 5,20 \times 2 \dots \dots \dots 475^{\text{m}^3} 200$
- 2^o) Le volume d'eau déplacé par un grand bateau chargé est :
 $35 \times 5 \times 2,10 \dots \dots \dots 367 \quad 500$
- 3^o) Le volume d'eau déplacé par un grand bateau vide est :
 $35 \times 5 \times 0,50 \dots \dots \dots 52 \quad 500$

- 4^e) Le volume d'une éclusee dans le petit sas amont formé par la fermeture des portes intermédiaires est : 23,64
 $\times 5,20 \times 2$ 245^mc 856
- 5^e) Le volume d'eau déplacé par un petit bateau chargé est :
 $17 \times 2,60 \times 1,80$ 79 560
- 6^e) Le volume d'eau déplacé par un petit bateau vide est :
 $17 \times 2,60 \times 0,50$ 12 560

Comme on peut s'en assurer en faisant le calcul par section d'alimentation et par écluse, c'est aux écluses n^{os} 11 et 12, aux extrémités du bief de partage, que les pertes sont les plus grandes, et ce sont par conséquent les nombres ainsi trouvés qui doivent être introduits dans les prévisions de consommation.

(b). CONSOMMATION PERMANENTE

On a admis que l'évaporation enlève journellement une tranche d'eau de 11 millimètres pendant les mois de mai à octobre, de 2 1/2 millimètres pendant les mois de novembre à janvier et de 5 millimètres pendant les mois de février à avril.

En ce qui concerne les pertes par filtration et imbibition, M. Lefebvre compte sur une tranche d'eau de 5 centimètres par jour, en se basant sur des observations faites sur les embranchements du Centre¹. Les pertes par les portes d'écluse ont été fixées à 1 500 mètres cubes par paire de portes, d'après des expériences directes faites sur les huit premiers biefs élargis.

§ III. *Ressources d'eau actuelles.* — Les ruisseaux qui se déversent dans le canal et qui servent à son alimentation ont été jaugés pendant les années 1885 à 1888, on a ainsi pu établir les débits moyens journaliers de ces cours d'eau, pendant une année moyenne et pendant une année sèche.

Il n'existe qu'une seule source d'alimentation artificielle, qui est la prise d'eau de « La Rampe » et dont les eaux sont élevées dans le bief de partage

1. Voici le résultat des observations qui ont été faites en 1888, sur une partie de canal abandonnée et remplacée par une dérivation.

Le tronçon abandonné mesurait environ un kilomètre de développement, et il était complètement en remblai sur la moitié de sa longueur, ces remblais atteignaient même sur les deux rives des hauteurs de 6 à 7 mètres.

L'assèchement de cette partie de voie navigable fut pour ainsi dire complet au bout de 2 1/2 mois (du 15 septembre au 50 novembre). Les abaissements successifs du plan d'eau dus uniquement à l'évaporation, à l'imbibition et aux filtrations ont été les suivants :

Pour des hauteurs d'eau au-dessus du plafond de :

2 ^m .14 à 4 ^m .90	l'abaissement journalier a été de 60 millimètres			
de 1 90 à 1 50	—	—	50	—
de 1 50 à 1 10	—	—	40	—
de 1 10 à 0 80	—	—	30	—
de 0 80 à 0 15	—	—	15	—

à l'aide d'une vis d'Archimède mue par une machine à vapeur établie à Luttre, près de l'emplacement de l'écluse n° 11¹.

Les conditions d'alimentation du canal de Charleroi à Bruxelles sont figurées par les diagrammes du plan n° IV; pour chaque section d'alimentation, on a indiqué d'une part les ressources d'alimentation d'après les résultats des jaugeages, en année moyenne et en année sèche, et d'autre part les consommations d'eau. Ces diagrammes ont été tracés dans l'hypothèse que les dépenses journalières de la 2^e section seraient augmentées de 9000 mètres cubes pour l'alimentation du canal du Centre.

L'examen de ces diagrammes fait voir qu'à de rares exceptions près, la 2^e section du canal seule présente des ressources insuffisantes; pendant les années moyennes on peut satisfaire aux besoins du canal en relevant totalement ou partiellement les eaux de « la Rampe », et pendant plusieurs mois une partie des eaux disponibles de la 1^{re} section; mais pendant les années sèches ces ressources deviennent insuffisantes et il manquera pendant les mois de juillet, août, septembre et octobre respectivement 16789 mètres cubes, 19572 mètres cubes, 8467 mètres cubes et 3355 mètres cubes par jour à la 2^e section.

Il résulte des observations faites en temps de sécheresse et des expériences faites en 1884 et 1885, que la machine actuelle de Luttre peut, par un travail continu de jour et de nuit, et dans les meilleures conditions de fonctionnement, élever tout le débit de « la Rampe » en temps sec, sans toutefois donner un rendement supérieur à 720 mètres cubes par heure. Le cube d'eau maximum élevé dans le bief de partage à une hauteur moyenne de 2 m. 60 est donc de 17280 mètres cubes. Pour atteindre ce résultat la machine exige une consommation de charbon de 125 kilogrammes par heure, soit 18 kilogrammes de charbon par heure et par cheval mesuré en eau montée. Ceci démontre la nécessité de remplacer cette machine insuffisante et incapable d'élever les débits journaliers accusés pour la plupart des mois par les diagrammes.

Il y a lieu de remarquer en outre que les débits figurés sur les diagrammes, étant ceux obtenus en prenant les moyennes mensuelles des débits journaliers, il importe, pour que les débits inscrits soient relevés dans le bief de partage, que la machine soit même en état de relever en un jour les débits supérieurs à ces moyennes et qui interviennent dans leur détermination.

Le débit de la Rampe est d'ailleurs essentiellement variable aux diffé-

1. La vapeur est fournie par deux générateurs cylindriques, dans lesquels la pression par centimètre carré ne dépasse pas une atmosphère; la machine est du système à balancier et à basse pression; la vitesse est de 50 coups doubles par minute; la vis d'Archimède a une longueur de 8^m,00, un diamètre de 1^m,80 et est munie de 3 hélices.

Les dépenses d'exploitation et d'entretien de ces appareils s'élèvent à 75 francs par vingt-quatre heures de marche, ce qui fait ressortir dans les circonstances actuelles le prix du mètre cube d'eau élevée à 4 centimes, et le prix de 1000 mètres cubes élevés à 1 mètre de hauteur à 4 fr. 67, la hauteur d'élévation étant de 2,60.

rents moments d'une même journée, et dépend de deux usines hydrauliques établies en amont; et en outre la disposition des abords de la machine élévatoire ne permet pas l'établissement d'un réservoir pour emmagasiner les eaux et obtenir ainsi une marche régulière et continue de la machine.

Tel est l'état de la question dans la situation actuelle de la voie navigable; comme aucune décision n'est encore prise en ce qui concerne l'amélioration des conditions d'alimentation, nous n'entrerons pas dans le détail des moyens préconisés dans ce but.

D. — Canal de la Lys à l'Yperlée.

Ce canal traverse la crête de partage qui sépare les bassins de l'Escaut et de l'Yser; sa longueur est de 15 kilomètres et demi environ, sa largeur au plafond est de 10 mètres et son mouillage a été fixé à 2 m. 10.

Les travaux de construction de cette voie navigable sont encore en cours d'exécution: entamés jadis par une société concessionnaire et ensuite abandonnés par suite des grandes difficultés rencontrées dans la tranchée du bief de partage, ils ont été repris par l'État, et on compte que ce canal pourra être ouvert à la navigation vers la fin de 1895.

L'alimentation de ce canal devra être exclusivement artificielle, aucun ruisseau important ne se trouvant sur son parcours, et les eaux de drainage de la tranchée du bief de partage n'étant pas assez abondantes pour pouvoir entrer en ligne de compte.

§ I. *Dispositif adopté pour l'alimentation.* — La figure 2 de la planche N° IV indique le profil en long qui a été adopté pour le plafond des différents biefs du canal; toutes les écluses ayant été construites par l'ancienne société concessionnaire, on s'est trouvé dans l'obligation de conserver ce profil.

Le canal sera alimenté sur tout son parcours au moyen des eaux de la Lys; une première machine élévatoire établie latéralement à l'écluse double N°s I-II, située à l'extrémité du premier bief, en libre communication avec la rivière, relèvera dans le second bief toutes les eaux nécessaires à l'alimentation du canal. Il a été aménagé à cet effet, dans les maçonneries de l'écluse, un aqueduc circulaire de 1 m. 50 de diamètre intérieur, destiné à amener les eaux de la Lys dans un premier puisard d'aspiration circulaire A, de 1 m. 75 de diamètre.

Le second bief sera prolongé à partir de son extrémité à l'écluse N° III, au moyen d'un conduit latéral sur une longueur d'environ 5 000 mètres jusqu'au point B, où il ira aboutir à un second puisard d'aspiration de même dimension que le premier.

Ce conduit latéral est tantôt à ciel ouvert et offre la forme d'un demi-cylindre de 1 m. 50 de diamètre, tantôt il est voûté en forme d'aqueduc de 1 m. 50 d'ouverture; ailleurs finalement il affecte simplement la forme d'un canal latéral avec parois en terre, le tout suivant les circonstances

locales. Les pentes de ces différents tronçons sont calculées suivant le cas, d'après les formules de Bazin, de manière à amener au point B le volume d'eau nécessaire à l'alimentation du canal, à l'exception des eaux utilisées par le service du second bief.

A partir du second puisard, afin de ne pas approfondir outre mesure ce conduit latéral qui se serait trouvé à une profondeur moyenne de 7 mètres sous le niveau du sol et dans un mauvais terrain, les eaux seront reprises au moyen d'une seconde machine élévatrice et refoulées par l'intermédiaire d'une conduite forcée jusqu'au point C en amont de l'écluse N° V sur une longueur de 500 mètres environ; en ce point elles seront reçues dans une nouvelle rigole demi-cylindrique à ciel ouvert qui les conduira dans les biefs de partage. Les circonstances locales ont en quelque sorte imposé ce système d'alimentation; la difficulté consiste surtout en ce que cette voie navigable n'a qu'une prise unique située à l'extrémité d'un versant et à une assez grande distance du bief de partage.

Pour l'alimentation du versant de l'Yser, il est donc indispensable d'élever toutes les eaux jusqu'au bief de partage, pour les laisser redescendre ensuite au fur et à mesure des besoins¹.

Pour le versant de la Lys, la disposition projetée laisse à désirer en ce que l'eau nécessaire à l'alimentation des 3^e, 4^e et 5^e biefs est élevée inutilement jusqu'au bief de partage. Cet inconvénient pourra toutefois être évité en ce qui concerne les 4^e et 5^e biefs, en ménageant des prises d'eau particulières en B et en C pour les besoins de ces biefs.

En outre, dans le cas particulier qui nous occupe, l'établissement d'une seule machine élévatrice en A refoulant les eaux jusqu'au bief de partage au moyen d'une conduite forcée, aurait donné lieu à des dépenses de beaucoup supérieures à celles qu'entraînera la solution adoptée, à cause de l'éloignement du bief de partage de la prise d'eau.

(a). CONSOMMATION PERMANENTE

§ II. *Consommation d'eau.* — Les pertes par évaporation ont été évaluées à 4 millimètres par jour en moyenne durant toute l'année. Quant aux pertes par imbibition et filtration, quoique le canal soit en remblai sur une grande partie de son parcours, les terres traversées sont partout argilenses ou végétales; c'est pourquoi il convient de ne pas exagérer le chiffre de la consommation occasionnée de ce chef; nous avons fixé ces pertes d'eau à 36 millimètres par jour, ce qui, ajouté aux pertes par évaporation, suppose une consommation journalière d'une tranche d'eau de 4 centimètres sur toute la surface liquide du canal.

1. Il ne peut pas être question de puiser les eaux nécessaires à l'alimentation de ce versant dans le canal d'Ypres à l'Yser, qui forme le prolongement du canal de la Lys à l'Yperlée, car cette voie navigable est déjà insuffisamment alimentée pour satisfaire à ses propres nécessités.

Si d'ailleurs à l'origine les pertes étaient supérieures, elles seraient facilement compensées par l'excédent d'eau disponible sur les dépenses prévues pour le passage des bateaux, aussi longtemps que la navigation n'aura pas atteint son dernier développement.

Il convient encore d'ajouter à la consommation permanente un cube d'eau de 1 000 mètres à fournir au bief de partage pour compenser les pertes par les portes d'écluse, soit 500 mètres cubes par paire de portes.

La surface liquide totale sur laquelle les pertes permanentes se produiront est de 25 hectares environ, ce qui donnera une consommation totale de $250\,000 \text{ m}^3 \times 0.04 + 1\,000 \text{ m}^3 = 11\,000$ mètres cubes en 24 heures.

(b). CONSOMMATION INTERMITTENTE DUE A LA NAVIGATION

Le tableau A de la page 21 indique les consommations d'eau auxquelles donne lieu le passage d'un bateau traversant le canal dans chaque sens. Cette consommation est établie par compensation, en utilisant le gain réalisé dans un bief par le passage d'un bateau pour compenser la perte que ce même bateau a fait éprouver au bief immédiatement inférieur, et en supposant les sas maintenus à l'étiage d'aval.

La colonne (6) donne ainsi le cube à fournir à chaque bief après le passage d'un bateau.

Dans l'évaluation des pertes dues à la navigation, il convient de tenir compte de l'existence d'un quai de déchargement établi dans le neuvième bief: les pertes d'eau occasionnées par les bateaux qui remonteront à charge le versant de l'Yser et redescendront à vide, sont évaluées dans la colonne (8).

En outre, on remarquera que pour alimenter les derniers biefs du versant de l'Yser, on ne dispose que d'une seule prise d'eau très éloignée, savoir l'écluse n° VII à l'extrémité du bief de partage. L'eau devant passer successivement par les ventelles de toutes les portes d'écluse, l'alimentation sera interrompue chaque fois qu'un bateau montant sera engagé dans le sas; de plus, si deux ou plusieurs bateaux montaient l'un à la suite de l'autre dans un bief court de l'extrémité du versant de l'Yser, il se pourrait que l'eau n'arrivât plus assez rapidement dans ce bief, alors on devrait avoir recours au bief immédiatement supérieur et en tirer un volume d'eau supplémentaire plus ou moins considérable pour maintenir les bateaux à flot, et cela au détriment du bief immédiatement supérieur dans lequel on provoquerait ainsi une pénurie d'eau anormale, incompatible avec les besoins de ce bief.

Dans le cas actuel ces inconvénients pourraient surtout se produire dans les biefs n°s 11, 10 et 9 pour les bateaux montants, ainsi qu'on peut s'en assurer facilement par le calcul direct; c'est pourquoi il est utile de s'assurer de la possibilité de maintenir dans ces biefs une réserve d'eau suffi-

A

Détermination du volume d'eau nécessaire au passage d'un bateau.

NUMÉ- ROS des BIEFS.	PERTES de CHIQUE BIEF par éclusee.	GAINS de CHIQUE BIEF par éclusee.	DIFFÉ- RENCES.		CONSUMMATION d'eau occasionnée dans CHIQUE BIEF par le passage d'un bateau traversant le canal		CONSUMMATION supplémentaire pour le service du 9° BIEF	
			PERTES.	GAINS.	en opérant par compensation pour tous les biefs.	en maintenant un mouillage constant dans les biefs 9-10-11.	en opérant par compensation pour tous les biefs.	en maintenant un mouillage constant dans les biefs 9-10-11.
1	2	5	4	5	6	7	8	9

I. — DIRECTION DE COMINES VERS YPRES									
Versant de la Lys. Bief de partage. Versant de l'Yser.	En remonte :		m2	m	m3	m3	m3	m3	m3
	3	$2/5 \times (257 \times 7.588) = 1167$	2.047 = 364	805	»	655 (a)	655 (a)	»	»
	4	$3/4 \times 257 \times \begin{cases} 2.047 = 564 \\ 2.535 = 425 \end{cases}$	2.535 = 425	»	61	»	»	»	»
	5	$\begin{cases} 2.890 = 425 \\ 2.890 = 514 \end{cases}$	2.890 = 514	11	»	11	»	»	»
	6	$3/4 \times (257 \times 2.851) = 505$	»	505	»	505	505	»	»
	En descente :								
	6	$3/4 \times (257 \times 2.474) = 440$	»	440	»	440	440	»	»
	7	$\begin{cases} 2.898 = 515 \\ 2.558 = 455 \end{cases}$	$\begin{cases} 2.474 = 440 \\ 5.050 = 515 \end{cases}$	75	»	75	75	»	»
	8	$3/4 \times 257 \times \begin{cases} 2.558 = 455 \\ 2.587 = 460 \end{cases}$	$\begin{cases} 2.558 = 455 \\ 2.587 = 460 \end{cases}$	5	»	» (b)	» (b)	460	460
	10	$\begin{cases} 2.965 = 527 \\ 2.674 = 475 \end{cases}$	$\begin{cases} 2.587 = 460 \\ 2.965 = 527 \end{cases}$	67	»	12 (c)	12 (c)	67	67
11		$\begin{cases} 2.965 = 527 \\ 2.674 = 475 \end{cases}$	52	»	»	»	»	»	
Totaux.						1694	1694	527	527

II. — DIRECTION D'YPRES VERS COMINES									
Versant de l'Yser. Bief de partage. Versant de la Lys.	En remonte :		m2	m	m3	m3	m3	m3	m3
	11	$\begin{cases} 5.221 = 928 \\ 2.965 = 527 \end{cases}$	$\begin{cases} 2.965 = 527 \\ 5.050 = 897 \end{cases}$	401	»	51 (e)	928	51 (e)	928
	10	$3/4 \times 257 \times \begin{cases} 5.050 = 897 \\ 2.558 = 455 \end{cases}$	$\begin{cases} 5.050 = 897 \\ 2.558 = 455 \end{cases}$	370	»	527	»	527	»
	9	$\begin{cases} 2.558 = 455 \\ 2.898 = 515 \end{cases}$	$\begin{cases} 2.558 = 455 \\ 2.898 = 515 \end{cases}$	442	»	582 (f)	897	897	897
	8	$\begin{cases} 2.898 = 515 \\ 2.474 = 440 \end{cases}$	$\begin{cases} 2.898 = 515 \\ 2.474 = 440 \end{cases}$	60	»	»	»	»	»
	7	$3/4 \times (257 \times 2.474) = 440$	2.474 = 440	75	»	75	75	»	»
	6	$3/4 \times (257 \times 2.474) = 440$	»	440	»	440	440	»	»
	En descente :								
	6	$3/4 \times (257 \times 2.851) = 505$	»	505	»	505	505	»	»
	5	$3/4 \times 257 \times \begin{cases} 2.890 = 514 \\ 2.535 = 425 \end{cases}$	$\begin{cases} 2.851 = 505 \\ 2.890 = 514 \end{cases}$	11	»	11	»	»	»
4	$\begin{cases} 2.017 = 564 \\ 2.017 = 564 \end{cases}$	$\begin{cases} 2.890 = 514 \\ 2.535 = 425 \end{cases}$	89	»	»	»	»	»	
3	$2/5 \times (257 \times 5.694) = 584$	$\begin{cases} 2.535 = 425 \\ 2.047 = 364 \end{cases}$	61	»	»	»	»	»	
2		$\begin{cases} 2.047 = 364 \\ 2.047 = 364 \end{cases}$	220	»	70 (a)	70 (a)	»	»	
Totaux.						1512	5451	928 + 200 (g)	2552 + 200 (g)
								1128	2552

Notes. — La surface de chaque sas est très approximativement de 257 mètres carrés.
Toutes les écluses ont des bassins d'épargne pouvant économiser 1/4 de l'écluse, sauf les écluses à l'avant du 2° bief, dont les bassins peuvent économiser 1/5.
(a) Les pertes du 2° bief sont compensées partiellement par les gains des 5° et 4° biefs;
(b) — — — — — en totalité — — — — — du 8° bief;
(c) — — — — — partiellement — — — — — 8° bief;
(d) — — — — — — — — — — — 10° bief;
(e) — — — — — — — — — — — 8° bief;
(f) — — — — — — — — — — — 8° bief;
(g) Les colonnes 6 et 7 donnent des résultats identiques lorsqu'il s'agit d'un bateau descendant le versant de l'Yser;
(h) Le prisme d'immersion d'un bateau chargé est supposé avoir un volume de 200 mètres cubes.

sante de manière à ce que chacun d'eux puisse se suffire à lui-même quel que soit le mouvement de la navigation, sans attendre, pour reprendre son étiage, que le bateau montant ait entièrement traversé le bief.

Le débit des ventelles des portes étant de 5 mètres cubes par seconde au minimum, ce qui est plus que suffisant, la question est donc réduite à fournir assez rapidement au bief de partage le volume d'eau nécessaire pour maintenir dans les trois derniers biefs un mouillage constant, quel que soit le mouvement de la navigation.

La colonne (7) du tableau A donne dans ces conditions les consommations d'eau occasionnées par le passage d'un bateau traversant tout le canal, et la colonne (9) celles occasionnées par un bateau montant à charge jusqu'au neuvième bief et redescendant à vide.

Pour évaluer la consommation journalière et occasionnée par le passage des bateaux, nous avons supposé que lorsque la navigation aurait atteint son plus grand développement, la circulation journalière serait de dix bateaux (cinq dans chaque sens), plus deux bateaux montant à charge jusqu'au neuvième bief et redescendant à vide.

En adoptant les cubes inscrits dans les colonnes (7) et (9) du tableau A, on arrive ainsi à une consommation totale composée comme suit :

1° Pertes permanentes	11 000 ^{m³} .000
2° 5 bateaux allant de Comines à Ypres $5 \times 1694 =$	8 470 000
3° — — d'Ypres à Comines $5 \times 5451 =$	17 255 000
4° 2 bateaux montant à charge au 9 ^e bief $\left\{ \begin{array}{l} 2 \times 2552 = \\ \text{et descendant à vide.} \end{array} \right.$	5 104 000
	$2 \times 527 =$
	1 054 000
Total	<u>42 885^{m³}.000</u>

Tel est le cube d'eau à fouler journellement dans le deuxième bief, au moyen de la première machine élévatoire. Une pompe travaillant 12 heures devrait élever 995 litres par seconde, soit un mètre cube par seconde en nombre rond, pour fournir ce débit.

Ces prévisions sont faites dans les hypothèses les plus défavorables, le mouvement des bateaux est supposé très grand, et en outre on a négligé complètement l'économie résultant de la coïncidence inévitable des bateaux aux écluses.

Installer une seule pompe pouvant débiter en travail normal un mètre cube par seconde, c'eût été se placer dans des conditions économiques très défavorables, attendu que ce débit maximum ne se trouvera peut-être réalisé que dans des cas tout à fait exceptionnels; d'un autre côté, comme il importe d'avoir des appareils de rechange, il a été décidé d'installer dans la première usine élévatoire deux pompes capables de débiter chacune en travail normal la moitié de ce cube maximum, soit 500 litres par seconde.

Comme il est facile de s'en rendre compte au moyen du tableau, pour

diverses combinaisons de trafic, une seule pompe sera presque toujours suffisante pour assurer l'alimentation dans de bonnes conditions.

Le débit des pompes à installer dans la seconde usine élévatoire est calculé d'après les mêmes principes.

Remarque. — Dans les calculs qui précèdent, on a supposé l'emploi des bassins d'épargne pour les éclusées : on peut se demander si ce mode de calcul est acceptable pour le versant de l'Yser, attendu qu'on doit constamment laisser s'écouler les eaux du bief de partage pour l'alimentation des biefs inférieurs. Nous estimons que dans les calculs de l'espèce, il suffit de pouvoir compter sur un cube d'eau permettant de faire face aux prévisions; le mode d'utilisation des eaux constitue une simple question de manutention. Il suffit par conséquent, dans le cas actuel, de calculer la force des machines de telle manière qu'elles soient capables d'emmener un cube d'eau déterminé en un temps donné au bief de partage.

§ III. *Examen d'un cas particulier.*

C'est ici le lieu de faire ressortir l'influence de l'inégalité des chutes des écluses d'un canal à bief de partage sur la consommation.

Dans le cas particulier du canal de la Lys à l'Yperlée, on remarquera que toutes les chutes des écluses sont inégales. Si cette inégalité est sans influence sur les pertes permanentes, il n'en est pas de même pour les pertes occasionnées par la navigation. Ainsi, en nous plaçant dans les mêmes conditions au point de vue des dispositifs adoptés pour l'alimentation, et en admettant les mêmes hypothèses, en ce qui concerne le trafic, que précédemment, nous supposons que les niveaux actuellement assignés pour les flottaisons des 2^e bief, 6^e bief (partage) et 9^e bief soient des points de sujétion dont nous ne pouvons pas nous écarter; en divisant en quatre parties égales la différence de niveau entre les 6^e et 2^e biefs, et en trois parties égales celle entre les 6^e et 9^e biefs, nous trouvons ainsi que les écluses n^{os} III, IV, V, VI, au lieu d'avoir des chutes de 2 m. 047, de 2 m. 593, de 2 m. 89 et de 2 m. 851, auraient pu avoir une chute uniforme de 2 m. 54 chacune; de même les écluses VII, VIII, IX, au lieu d'avoir des chutes de 2 m. 474, de 2 m. 898 et de 2 m. 558, auraient pu avoir une chute uniforme de 2 m. 645.

Le tableau B de la page 24 détermine dans ces hypothèses le volume d'eau nécessaire au passage des bateaux dans les mêmes conditions que le tableau A.

L'examen de ce tableau fait voir que le cube d'eau à élever par la première machine élévatoire dans les conditions de trafic précédemment prévues, est de :

1 ^o Pour 5 bateaux allant de Comines à Ypres	$5 \times 1694 =$	8470 ^{m3}
2 ^o — — — d'Ypres à Comines	$5 \times 3406 =$	17030
3 ^o Pour 2 bateaux montant à charge au	$2 \times 2552 =$	5104
9 ^e bief et redescendant à vide.	$2 \times 527 =$	1054
Total.		51658 ^{m3}

B

Détermination du volume d'eau nécessaire au passage d'un bateau.

NUMÉ- ROS des BIEFS.	PERTES	GAINS	DIFFÉ- RENCES.		CONSUMMATION d'eau occasionnée dans CHACQUE BIEF par le passage d'un bateau traversant le canal		CONSUMMATION supplémentaire pour le service du 9 ^e BIEF	
	de	de			en	en	en	en
	CHACQUE BIEF par éclusee.	CHACQUE BIEF par éclusee.	PERTES.	GAINS.	opérant par compensation pour tous les biefs.	maintenant un mouillage constant dans les biefs 9-10-11.	opérant par compensation pour tous les biefs.	maintenant un mouillage constant dans les biefs 9-10-11.
1	2	5	4	5	6	7	8	9
I. — DIRECTION DE COMINES VERS YPRES								
Versant de la Lys. 512 5 Bief de partage. 6	<i>En remonte :</i>							
	$2\frac{5}{4} \times 257 \times 7.588 = 1167$		$5\frac{1}{4} \times 257 \times 2.540 =$	$\begin{cases} 432 \\ 432 \\ 432 \\ 432 \end{cases}$	$\begin{cases} 715 \\ 715 \\ 715 \\ 715 \end{cases}$	$\begin{cases} 715 \\ 715 \\ 715 \\ 715 \end{cases}$	$\begin{cases} 715 \\ 715 \\ 715 \\ 715 \end{cases}$	$\begin{cases} 715 \\ 715 \\ 715 \\ 715 \end{cases}$
	$\begin{cases} 2.540 = 432 \\ 2.540 = 432 \\ 2.540 = 432 \\ 2.540 = 432 \end{cases}$			$\begin{cases} 432 \\ 432 \\ 432 \\ 432 \end{cases}$	$\begin{cases} 432 \\ 432 \\ 432 \\ 432 \end{cases}$	$\begin{cases} 432 \\ 432 \\ 432 \\ 432 \end{cases}$	$\begin{cases} 432 \\ 432 \\ 432 \\ 432 \end{cases}$	$\begin{cases} 432 \\ 432 \\ 432 \\ 432 \end{cases}$
	$5\frac{1}{4} \times 257 \times 2.540 = 432$							
	$\begin{cases} 2.540 = 432 \\ 2.540 = 432 \\ 2.540 = 432 \\ 2.540 = 432 \end{cases}$							
	$2.540 = 432$							
Versant de l'Yser. 7 8 9 10 11	<i>En descente :</i>							
	$2.645 = 470$							
	$5\frac{1}{4} \times 257 \times 2.645 = 470$		$5\frac{1}{4} \times 257 \times 2.645 = 470$	$\begin{cases} 2.645 = 470 \\ 2.645 = 470 \\ 2.645 = 470 \\ 2.645 = 470 \end{cases}$	$\begin{cases} 470 \\ 470 \\ 470 \\ 470 \end{cases}$	$\begin{cases} 470 \\ 470 \\ 470 \\ 470 \end{cases}$	$\begin{cases} 470 \\ 470 \\ 470 \\ 470 \end{cases}$	$\begin{cases} 470 \\ 470 \\ 470 \\ 470 \end{cases}$
	$\begin{cases} 2.645 = 470 \\ 2.645 = 470 \\ 2.645 = 470 \\ 2.645 = 470 \end{cases}$			$\begin{cases} 470 \\ 470 \\ 470 \\ 470 \end{cases}$	$\begin{cases} 470 \\ 470 \\ 470 \\ 470 \end{cases}$	$\begin{cases} 470 \\ 470 \\ 470 \\ 470 \end{cases}$	$\begin{cases} 470 \\ 470 \\ 470 \\ 470 \end{cases}$	$\begin{cases} 470 \\ 470 \\ 470 \\ 470 \end{cases}$
	$2.645 = 470$							
	$2.645 = 470$							
Totaux.					1694	1694	527	527
II. — DIRECTION D'YPRES VERS COMINES								
Versant de la Lys. 11 10 9 8 7	<i>En remonte :</i>							
	$5.221 = 928$		$5\frac{1}{4} \times 257 \times 2.965 = 527$	$\begin{cases} 2.965 = 527 \\ 2.965 = 527 \\ 2.965 = 527 \\ 2.965 = 527 \end{cases}$	$\begin{cases} 51 \\ 51 \\ 51 \\ 51 \end{cases}$	$\begin{cases} 928 \\ 928 \\ 928 \\ 928 \end{cases}$	$\begin{cases} 51 \\ 51 \\ 51 \\ 51 \end{cases}$	$\begin{cases} 928 \\ 928 \\ 928 \\ 928 \end{cases}$
	$\begin{cases} 2.965 = 527 \\ 2.965 = 527 \\ 2.965 = 527 \\ 2.965 = 527 \end{cases}$			$\begin{cases} 527 \\ 527 \\ 527 \\ 527 \end{cases}$	$\begin{cases} 527 \\ 527 \\ 527 \\ 527 \end{cases}$	$\begin{cases} 527 \\ 527 \\ 527 \\ 527 \end{cases}$	$\begin{cases} 527 \\ 527 \\ 527 \\ 527 \end{cases}$	$\begin{cases} 527 \\ 527 \\ 527 \\ 527 \end{cases}$
	$5\frac{1}{4} \times 257 \times 2.965 = 897$							
	$\begin{cases} 2.965 = 897 \\ 2.965 = 897 \\ 2.965 = 897 \\ 2.965 = 897 \end{cases}$							
	$2.965 = 897$							
Bief de partage. 6	<i>En descente :</i>							
	$2.540 = 452$							
	$5\frac{1}{4} \times 257 \times 2.540 = 452$		$5\frac{1}{4} \times 257 \times 2.540 = 452$	$\begin{cases} 2.540 = 452 \\ 2.540 = 452 \\ 2.540 = 452 \\ 2.540 = 452 \end{cases}$	$\begin{cases} 452 \\ 452 \\ 452 \\ 452 \end{cases}$	$\begin{cases} 452 \\ 452 \\ 452 \\ 452 \end{cases}$	$\begin{cases} 452 \\ 452 \\ 452 \\ 452 \end{cases}$	$\begin{cases} 452 \\ 452 \\ 452 \\ 452 \end{cases}$
	$\begin{cases} 2.540 = 452 \\ 2.540 = 452 \\ 2.540 = 452 \\ 2.540 = 452 \end{cases}$			$\begin{cases} 452 \\ 452 \\ 452 \\ 452 \end{cases}$	$\begin{cases} 452 \\ 452 \\ 452 \\ 452 \end{cases}$	$\begin{cases} 452 \\ 452 \\ 452 \\ 452 \end{cases}$	$\begin{cases} 452 \\ 452 \\ 452 \\ 452 \end{cases}$	$\begin{cases} 452 \\ 452 \\ 452 \\ 452 \end{cases}$
	$2.540 = 452$							
	$2.540 = 452$							
Totaux.					1512	5406	928 + 200 1128	2552 + 200 2752

Dans le cas de chutes inégales, ce cube déterminé précédemment (voir page 22) était de 51 885 mètres cubes ; par conséquent du fait de l'existence des chutes inégales, la première machine élévatoire devra élever journellement 225 mètres cubes de plus que si les chutes étaient égales, entre le 2^e bief et le bief de partage et entre ce dernier bief et le 9^e bief.

Si nous examinons l'influence des chutes inégales sur la puissance de la 2^e machine élévatoire à établir, en remarquant que cette machine doit élever toutes les eaux nécessaires au service de tous les biefs, sauf du deuxième, le cube à élever est déterminé de la manière suivante au moyen du tableau A pour le cas existant des chutes inégales :

1 ^o Pour 5 bateaux allant de Comines à Ypres $5 \times (1694 - 655) =$	5205 ^{m3}
2 ^o — — — d'Ypres à Comines $5 \times (5451 - 70) =$	16905
3 ^o Pour 2 bateaux montant au 9 ^e bief, etc. (comme ci-dessus).	6158
Total.	<u>28268^{m3}</u>

et au moyen du tableau B, pour le cas des chutes égales :

1 ^o Pour 5 bateaux allant de Comines à Ypres $5 \times (1694 - 715) =$	4895 ^{m3}
2 ^o — — — d'Ypres à Comines $5 \times (5406 - 152) =$	16570
3 ^o Pour 2 bateaux montant au 9 ^e bief, etc. (comme ci-dessus).	6158
Total.	<u>27423^{m3}</u>

La seconde machine devra donc élever journellement 845 mètres cubes de plus dans le premier cas que dans le second.

Les considérations qui précèdent peuvent acquérir une très grande importance dans certains cas particuliers, et nous pensons qu'il est toujours de la plus grande utilité, et cela à différents points de vue, d'égaliser autant que possible la hauteur des chutes d'un canal à bief de partage ; car si l'économie n'est pas toujours grande au point de vue de la consommation d'eau, on évitera au moins par là la sujétion d'une manœuvre constante des ventelles des portes pour établir la compensation dans les biefs après le passage des bateaux.

Nous ajouterons que la quantité d'eau à tirer d'un bief de partage pour le service de la navigation, en transit, comme dans le cas examiné, sera la plus petite possible et par conséquent la consommation du canal sera réduite au minimum, lorsque les chutes de toutes les écluses des deux versants seront égales, attendu que pour décomposer une quantité en deux facteurs dont la somme soit un minimum, il faut la décomposer en deux facteurs égaux.

IV. — RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Nous avons exposé successivement ce qui a été fait en vue d'assurer l'alimentation artificielle de deux canaux en exploitation ; ensuite nous

avons examiné les nouvelles prévisions de consommation pour un canal en voie d'extension et de transformation, et finalement les dispositions projetées pour un canal encore en cours d'exécution.

Les méthodes générales, pour déterminer à priori la consommation d'eau des canaux, font défaut, et il ne saurait en être autrement, les éléments dont se compose cette consommation étant variables pour chaque voie navigable en particulier. Les pertes permanentes ne sauraient exactement se définir que par l'observation directe : l'évaporation semble dépendre du climat de la contrée, de l'orientation de la voie navigable, du développement plus ou moins important de la végétation des plantes aquatiques; les infiltrations dépendent essentiellement de la nature du sol, etc. Les pertes dues à la navigation ne sont pas moins indécisées, la supputation du trafic probable d'une nouvelle voie de communication présentant toujours un grand côté aléatoire.

La question devient beaucoup moins indéterminée, lorsqu'il s'agit d'étudier les conditions d'amélioration d'un canal déjà existant; on peut ainsi profiter de l'expérience acquise et les calculs sont plus sûrs. L'indétermination qui domine toute cette question de l'alimentation artificielle des canaux, doit nécessairement engager les constructeurs à être très circonspects dans le choix des machines élévatoires, et on peut parfois arriver à un très bon résultat, en ménageant son capital de premier établissement, tout en se créant les ressources suffisantes pour assurer l'exploitation; il y a là une question de juste milieu qu'il n'est pas toujours facile de définir nettement.

Aussitôt qu'un nouveau canal alimenté artificiellement est ouvert à la navigation, il serait désirable de relever avec soin les pertes permanentes des biefs; plus tard, lorsqu'il s'agirait d'améliorer ou d'étendre le premier système d'alimentation, on aurait ainsi un élément certain sur lequel on pourrait compter. La détermination exacte du facteur relatif aux pertes permanentes est très importante, car il s'agit en effet avant tout de maintenir une flottaison déterminée; une fois ce résultat obtenu, on resterait entièrement libre de disposer du second facteur de la consommation, celui relatif aux pertes dues à la navigation, en augmentant la puissance des machines proportionnellement au trafic auquel on désire limiter la puissance de la voie navigable.

Quand on emploie des machines élévatoires, il semble judicieux de leur donner une force telle qu'on doive toujours les utiliser dans les meilleures conditions d'emploi pour lesquelles elles ont été construites, et que pendant la période d'emploi le travail journalier soit régulier et continu; car l'irrégularité dans le travail des machines entraîne des frais considérables de combustible, de nettoyage, d'entretien, etc., et en outre donne lieu à des inconvénients au point de vue du personnel préposé à la manœuvre des machines et à la manutention des eaux.

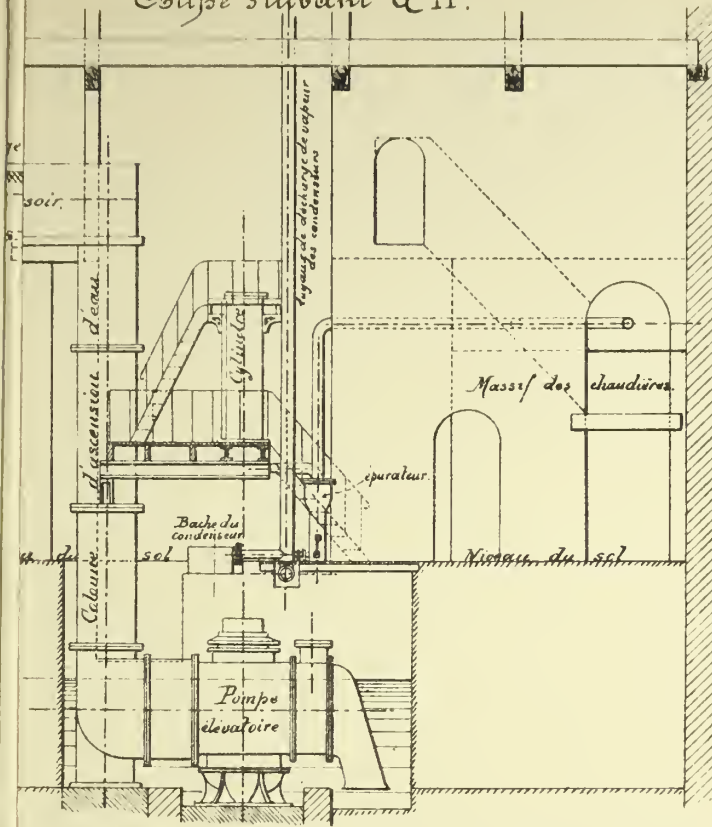
Dans cet ordre d'idées, il est utile de fractionner la force totale des

machines calculée pour le trafic maximum, dans les circonstances les plus défavorables, de manière à ce qu'une seule machine puisse suffire par un travail continu aux besoins ordinaires; on se ménage ainsi des appareils de rechange.

Finalement, dans l'étude du tracé d'un canal, il y a lieu d'examiner l'influence que le profil en long peut exercer sur les conditions d'alimentation; dans un canal à bief de partage notamment, les différences de chute des écluses successives peuvent occasionner de grandes sujétions pour l'alimentation de certains biefs. L'emplacement judicieux des ouvrages de retenue peut parfois faciliter beaucoup les conditions d'alimentation et diminuer dans une notable mesure les frais d'exploitation de la voie navigable.

Ypres, le 15 janvier 1892

Coupe suivant G H.



de situation
rents niveaux.

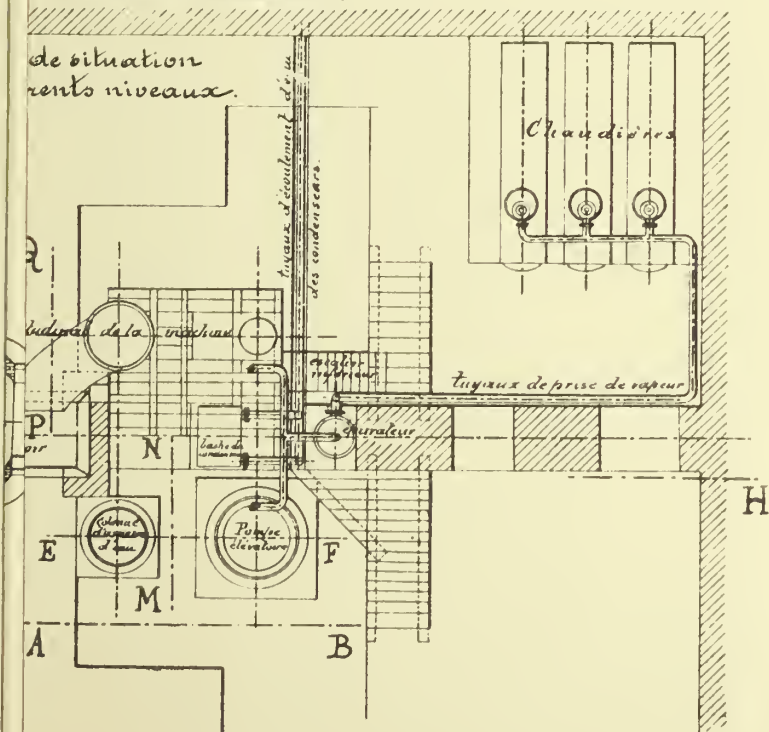
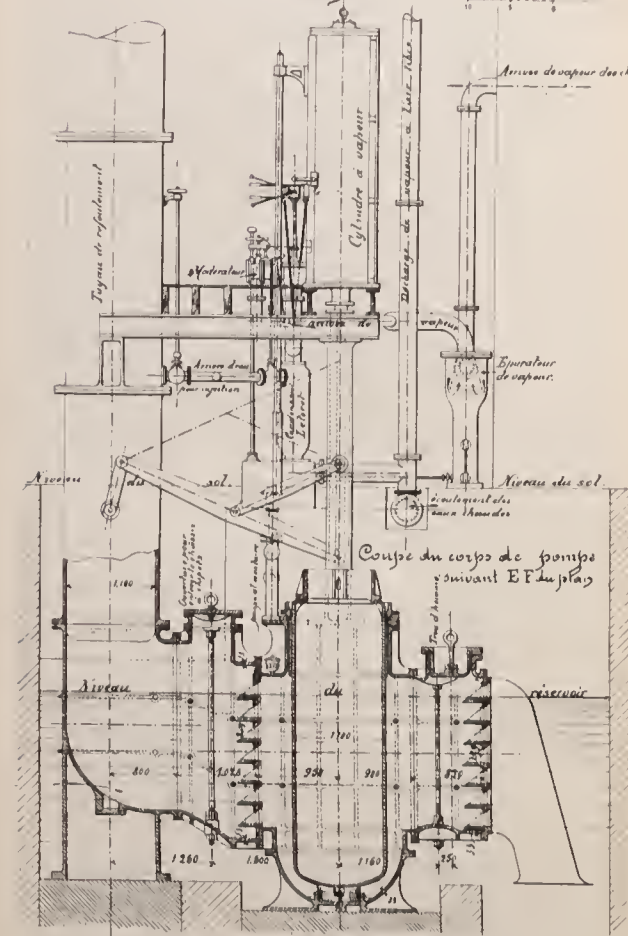


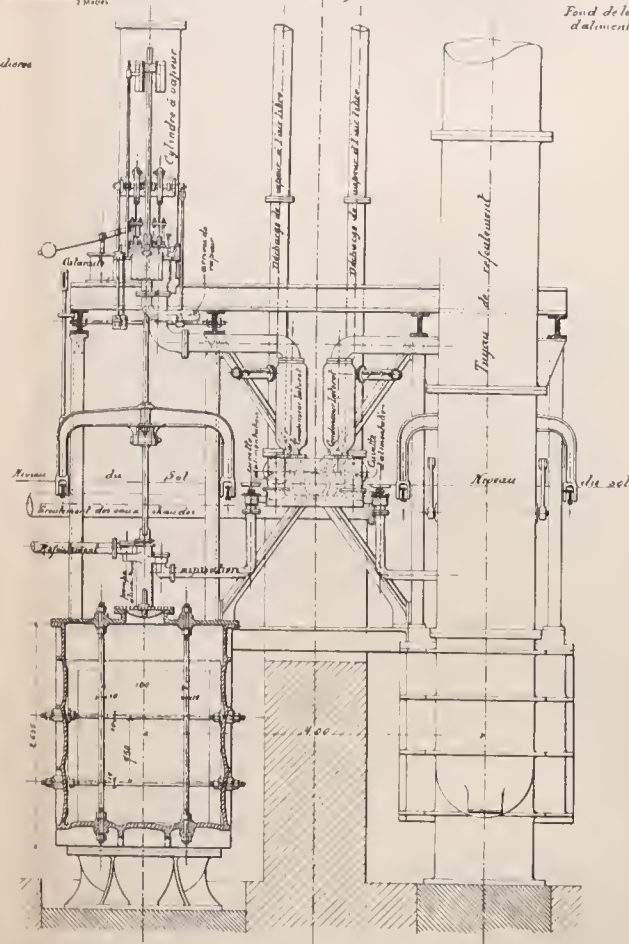
Planche N° 1

Canal de Commerce à Antong
Machines d'alimentation à vapeur.

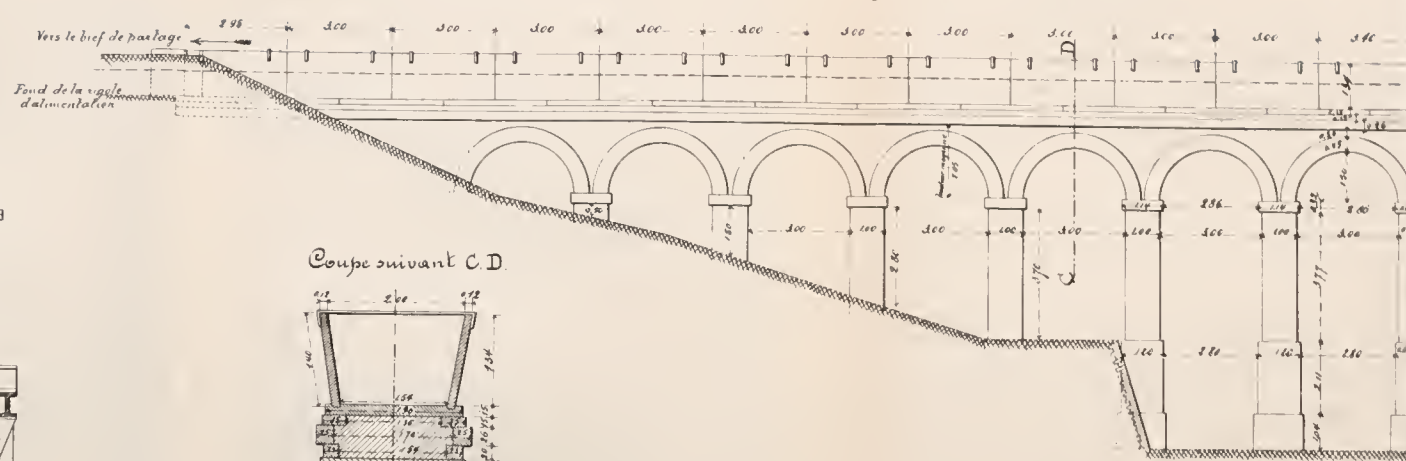
Elevation
suivant A B du plan



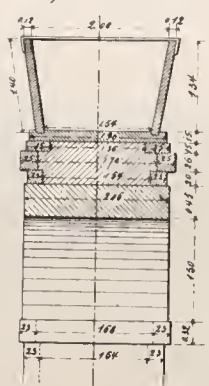
Profil
suivant MNPQ du plan



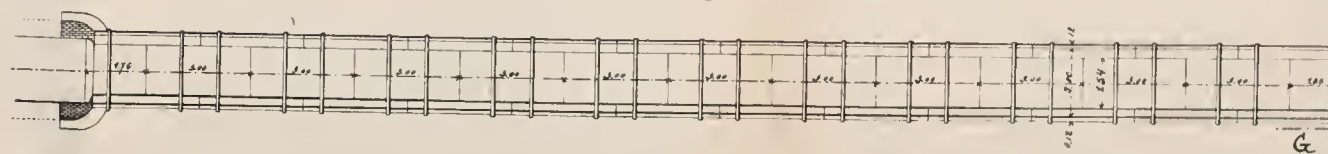
Elevation du viaduc supportant la rigole d'alimentation.



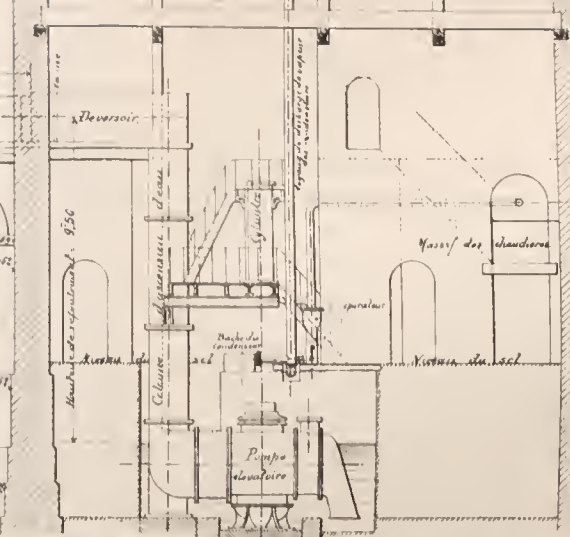
Coupe suivant C.D



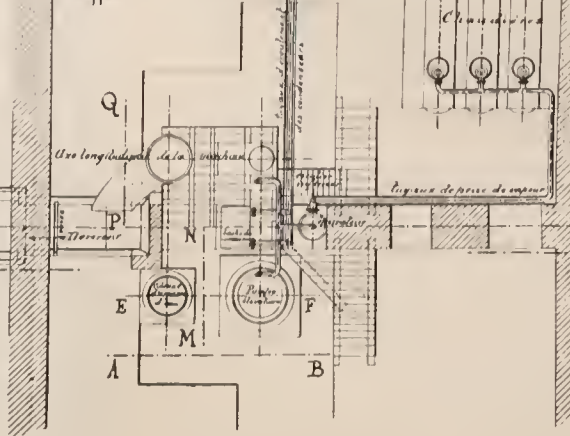
Plan de la rigole d'alimentation.



Coupe suivant Q.H

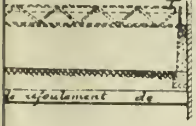


Plan de situation
à différents niveaux

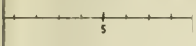


plan d'ensemble

foulement des nouvelles



Echelle.



Canal de Roulers
à la Lys



Détails

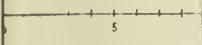
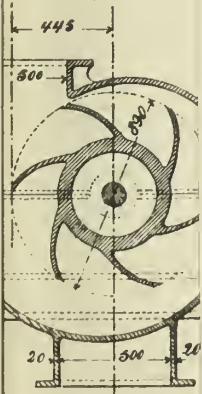
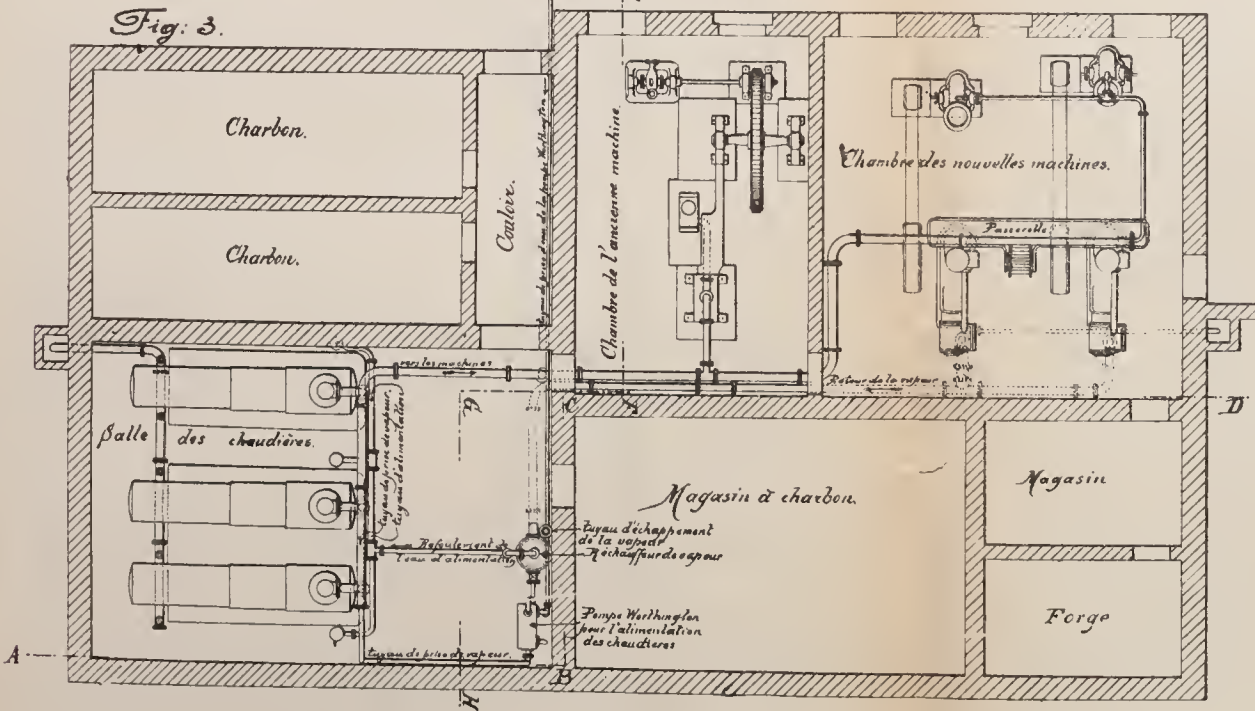
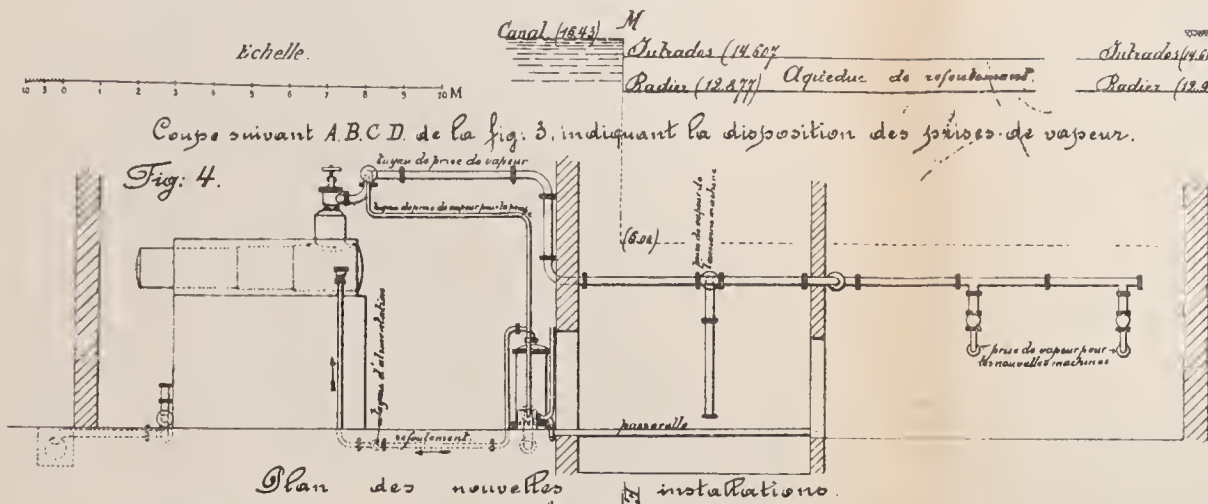
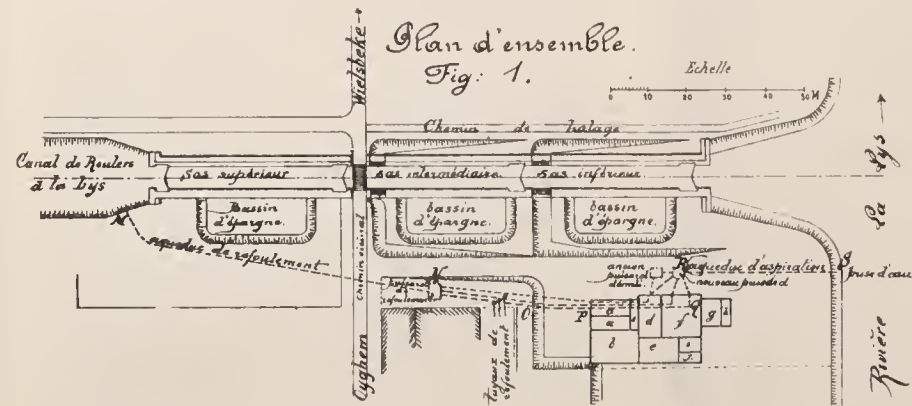
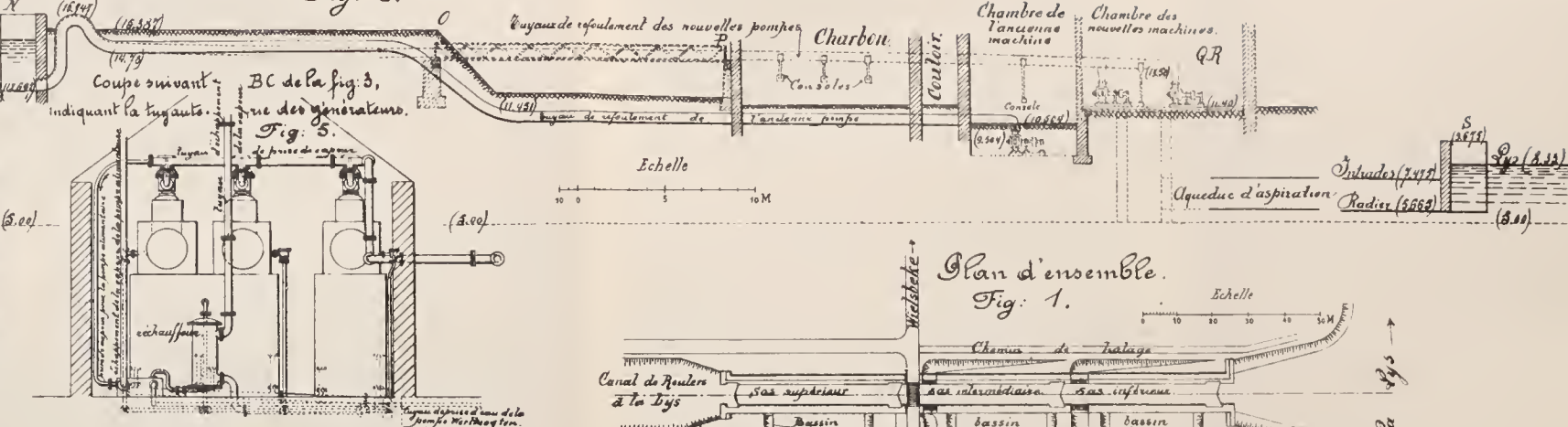


Planche N^o II.

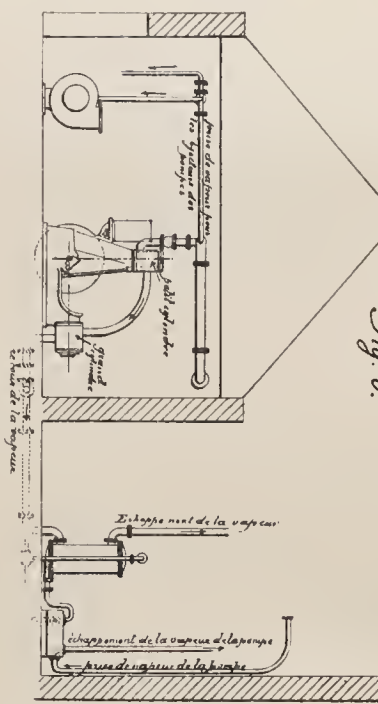
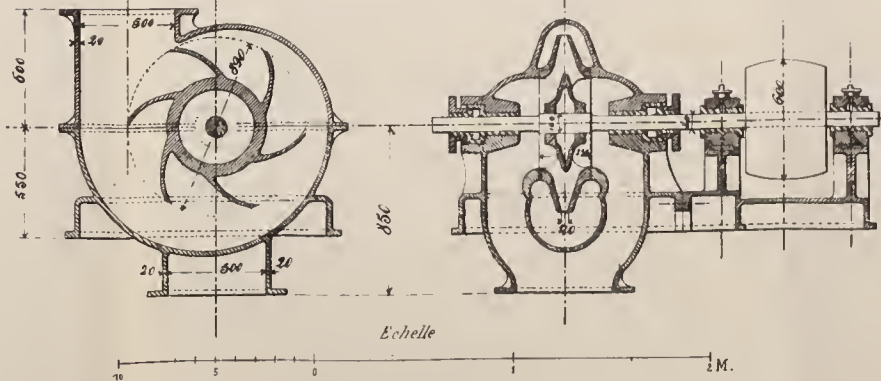
Canal de Roulers à la Lys.
Installation des machines élévatoires d'Oyghem.



Profil pris suivant la ligne brisée $MNOPQRS$ du plan d'ensemble. (voir fig. 1.)



Détails des nouvelles pompes.
48 — Fig: 7.



Coupe suivant $EFGH$ de la fig: 3.

Mont
ne d

Cheminée

Aval.

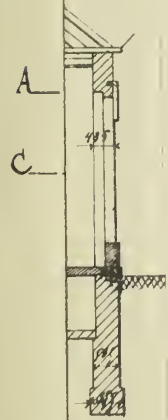
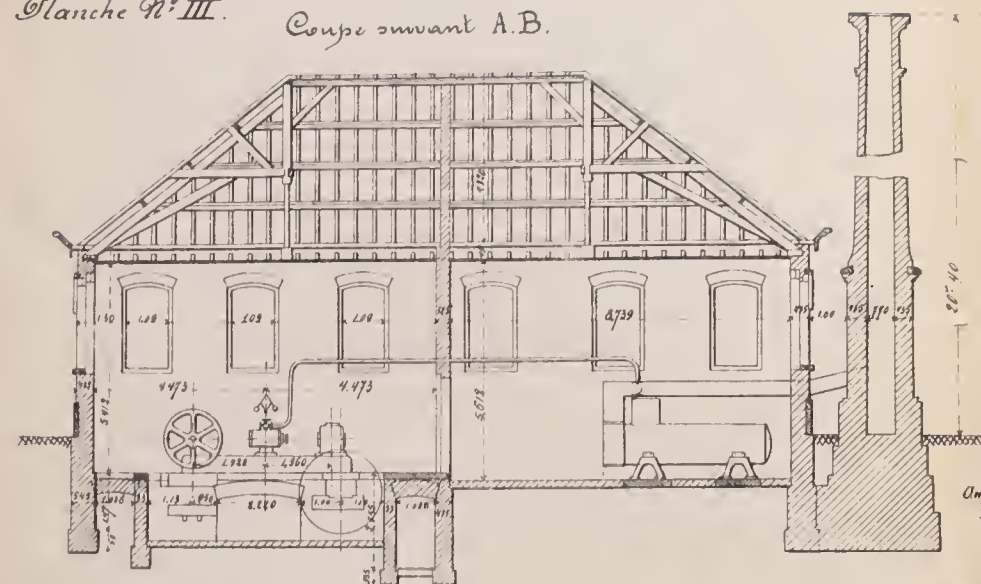
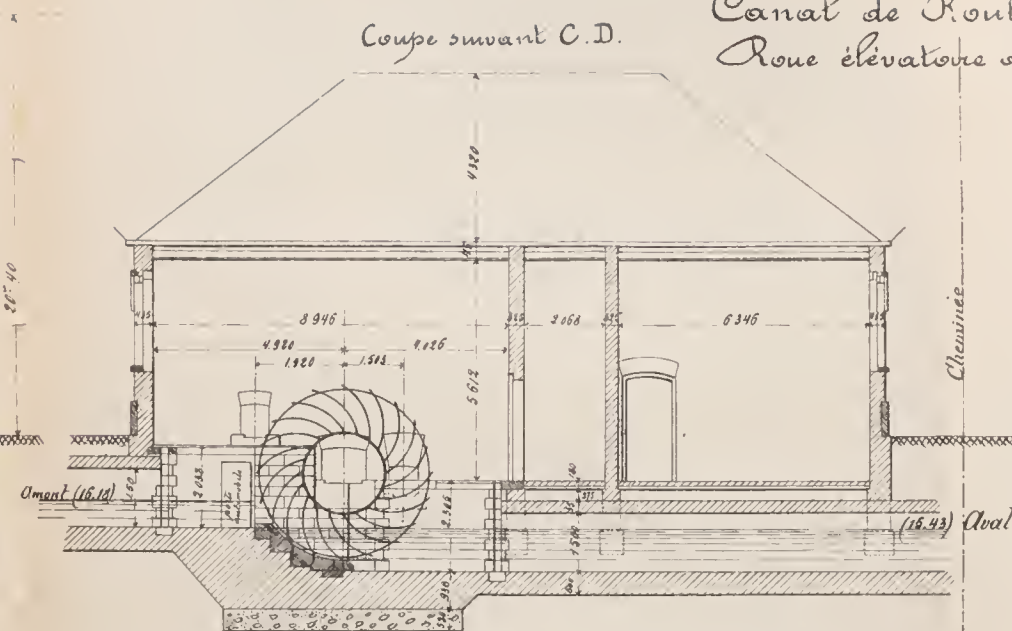


Planche N° III. Coupe suivant A.B.

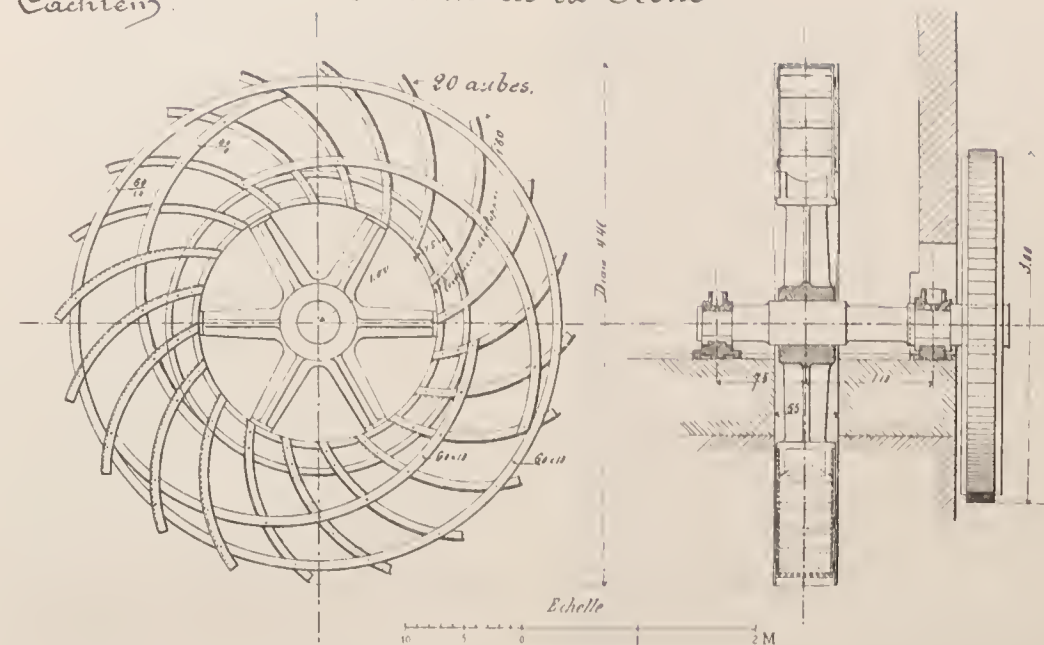


Coupe suivant C.D.

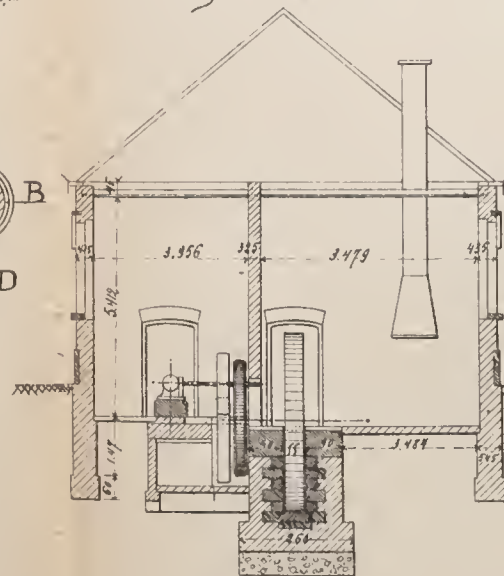


Canal de Roulers à la Lys.
Roue élévatoire de Cachteng.

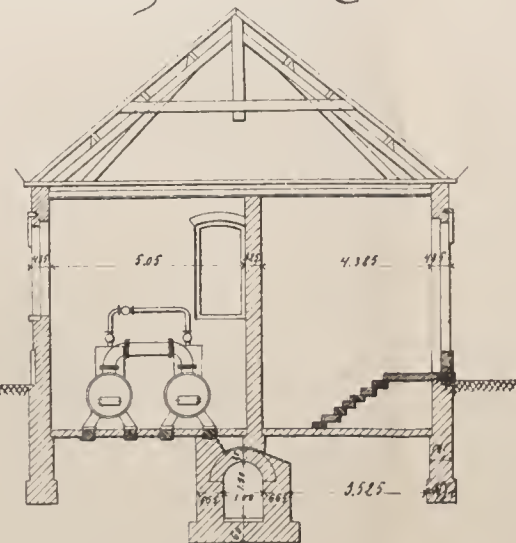
Détails de la Roue



Coupe suivant E.F.

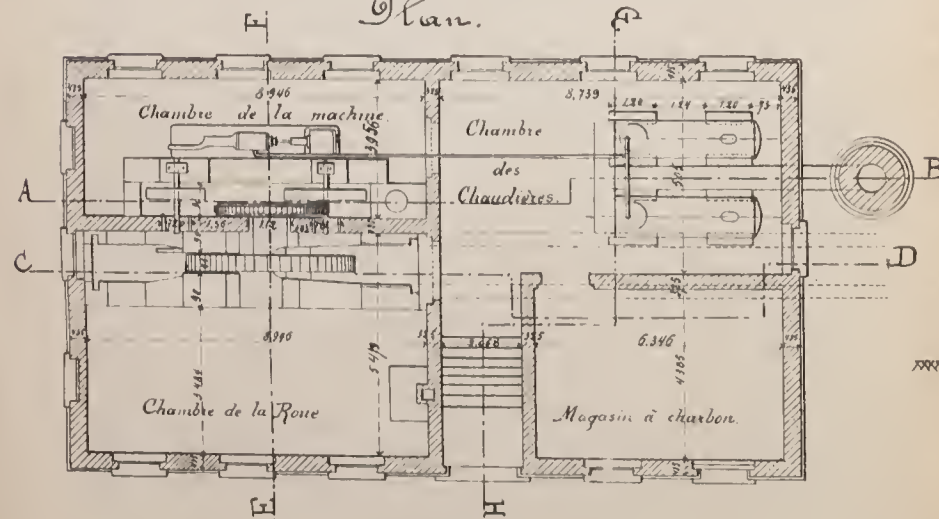


Coupe suivant G.H.

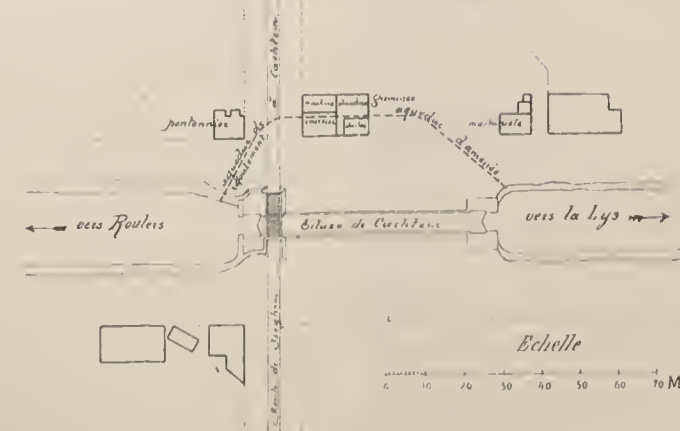


Echelle

Plan.



Plan de situation.



Bru

après le
re.

d'eau ind
e d'eau
au
ont passem
du bief
sur le
versant
de la
Seine

Ruis

49 50 51 52 53 54 55
de la Seine.

Canal de Bruxelles au Ruyel
Niveau de Floaison (18.410)

Origine du canal.

(12.743)

(10.286)

2.70 bief 2.15

(7.321)

2.11 bief 2.148

(4.947)

2.11 bief 2.11

(2.11) Canal

2.11 bief 2.11

2.11 bief 2.11

(Bief d'été)
La Lys (rivière)

aison. (Buse ap

es

les écluses.

les écluses.

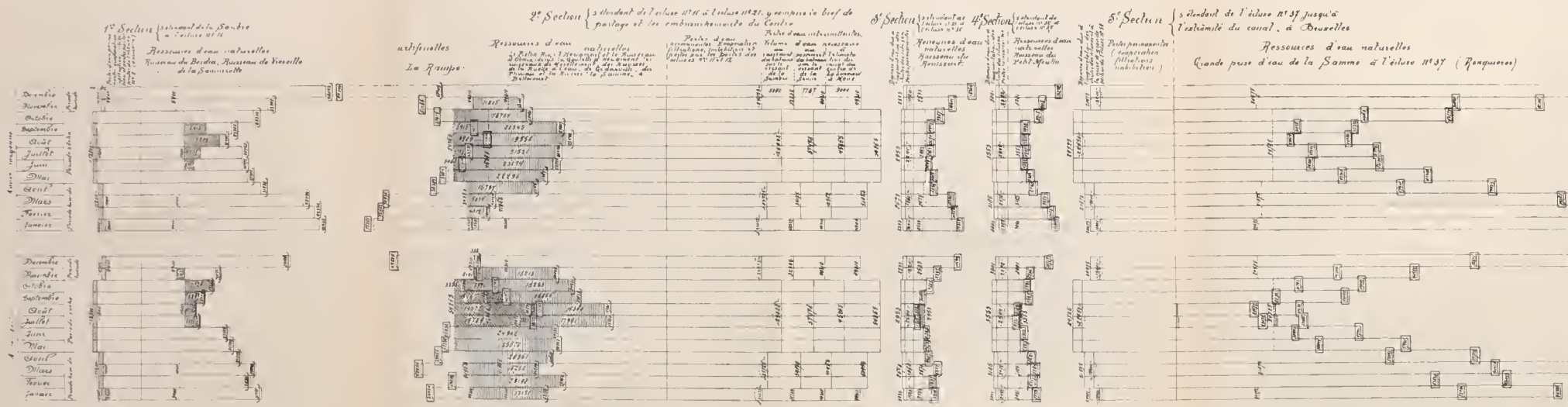
3617	3616	951.00	456.00
3617	3616	951.00	456.00

buse n° XI
buse aval

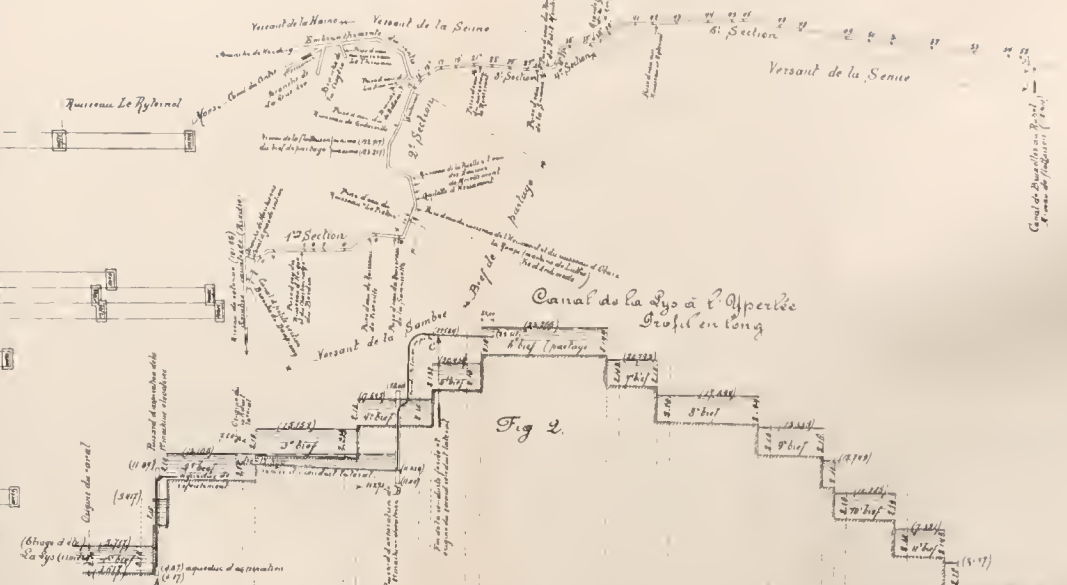
buse n° XII
buse aval

buse n° XIII
buse n° XIV
buse aval

Diagrammes relatifs aux conditions d'alimentation du canal de Charleroi à Bruxelles et des embranchements du Centre, dans la situation actuelle de la voie navigable.



Canal de Charleroi à Bruxelles
Plan de situation indiquant les sections d'alimentation
Fig. 1.



NB Les nombres inscrits sous le signe — indiquent les pertes permanentes dans chaque section.
Les nombres inscrits sous le signe — indiquent les cubes d'eau se déversant naturellement dans chaque section.

Plan de comparaison (Canal de la Sambre à l'écluse N° 17)

Chutes des écluses

Chutes des écluses	Distances entre les écluses	Longueur	Largeur	Profondeur	Volume
1 ^{re} écluse	100 m	100 m	10 m	10 m	1000 m³
2 ^e écluse	100 m	100 m	10 m	10 m	1000 m³
3 ^e écluse	100 m	100 m	10 m	10 m	1000 m³
4 ^e écluse	100 m	100 m	10 m	10 m	1000 m³
5 ^e écluse	100 m	100 m	10 m	10 m	1000 m³
6 ^e écluse	100 m	100 m	10 m	10 m	1000 m³
7 ^e écluse	100 m	100 m	10 m	10 m	1000 m³
8 ^e écluse	100 m	100 m	10 m	10 m	1000 m³
9 ^e écluse	100 m	100 m	10 m	10 m	1000 m³
10 ^e écluse	100 m	100 m	10 m	10 m	1000 m³
11 ^e écluse	100 m	100 m	10 m	10 m	1000 m³
12 ^e écluse	100 m	100 m	10 m	10 m	1000 m³
13 ^e écluse	100 m	100 m	10 m	10 m	1000 m³
14 ^e écluse	100 m	100 m	10 m	10 m	1000 m³
15 ^e écluse	100 m	100 m	10 m	10 m	1000 m³
16 ^e écluse	100 m	100 m	10 m	10 m	1000 m³
17 ^e écluse	100 m	100 m	10 m	10 m	1000 m³



V^{ème} CONGRÈS INTERNATIONAL DE NAVIGATION INTÉRIEURE
PARIS 1892

2^{me} QUESTION

ALIMENTATION DES CANAUX

PRINCIPALEMENT DANS L'EST DE LA FRANCE

RAPPORT

PAR

M. DENYS

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Épinal

PARIS

IMPRIMERIE GÉNÉRALE LAHURE

9, RUE DE FLEURUS, 9

1892

127.10
I. N. R.
1892
111

ALIMENTATION DES CANAUX

PRINCIPALEMENT DANS L'EST DE LA FRANCE

RAPPORT

PAR

M. DENYS

Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées à Epinal

OBJET DU RAPPORT

Conformément à la demande qu'a bien voulu nous adresser M. le président du comité technique et de rédaction du V^{me} Congrès de navigation, nous présentons dans ce rapport une étude sommaire sur l'alimentation des canaux, principalement dans la région de l'Est de la France.

Nous décrirons d'abord les dispositions adoptées pour l'alimentation du canal de l'Est, voie navigable à laquelle nous avons été personnellement attaché depuis l'origine des travaux. Nous rappellerons les procédés d'alimentation employés sur quelques autres voies navigables de la même région, soit antérieurement, soit postérieurement à la création du canal de l'Est, notamment le canal de la Marne au Rhin, le canal de l'Aisne à la Marne, celui de l'Oise à l'Aisne, celui de la Marne à la Saône.

Nous terminerons par l'exposé succinct des études auxquelles ont donné lieu deux voies navigables nouvelles, dont l'une a été ajournée et dont la deuxième a reçu un commencement important d'exécution : le canal de la Chiers, entre Longwy et Sedan, et le canal du Doubs à la Saône, entre Montbéliard et Conflandry.

Les considérations générales et les conclusions à tirer de cette étude formeront un court résumé, destiné à servir de point de départ à la discussion.

ALIMENTATION DU CANAL DE L'EST

Consistance générale du canal de l'Est.

Le canal de l'Est, construit de 1874 à 1882, remonte la vallée de la Meuse entre Givet et Tronssey, point où il se raccorde avec un long bief

du canal de la Marne au Rhin, dit « bief de Pagny ». Cette section forme la branche Nord. A Toul, la branche Sud se détache du canal de la Marne au Rhin, remonte la vallée de la Moselle jusqu'auprès de la ville d'Épinal, aux abords de laquelle elle franchit le faite séparatif de l'Océan et de la Méditerranée ; enfin elle redescend vers la vallée de la Saône et se termine à Corre.

Le canal de l'Est comprend en outre deux embranchements :

1° A Meissein, près de Nancy, se détache l'embranchement dit « de Nancy », qui franchit le faite séparatif de la Moselle et de la Meurthe et vient se souder, à Laneuville, avec le canal de la Marne au Rhin ;

2° A Golbey, près d'Épinal, vient se greffer l'embranchement « d'Épinal », qui n'est autre chose que la continuation, à niveau, de l'un des biefs de l'artère principale.

Au point de vue de l'alimentation, le canal de l'Est peut se diviser comme il suit :

1° Le versant de la Meuse, alimenté par des prises d'eau effectuées directement dans la rivière ;

2° Le bief de partage de Pagny, qui est commun avec le canal de la Marne au Rhin ;

3° Le versant de la Moselle alimenté directement par cette rivière ;

4° Le bief de partage des Vosges ;

5° Le versant de la Saône alimenté principalement par la rivière du Coney ;

6° Le bief de partage du Mauvais-Lieu sur l'embranchement de Nancy.

Nous laisserons de côté, dans cette étude, le versant de la Meuse et la partie de celui de la Moselle comprise entre Toul et Flavigny. Dans ces deux sections, le canal emprunte, à plusieurs reprises, le cours même de la rivière dont le mouillage normal est maintenu par des barrages : les ressources alimentaires sont surabondantes et l'évaluation des pertes généralement peu précise.

Au bief de partage de Pagny, les travaux d'alimentation se confondent avec ceux qu'a nécessités l'exhaussement de mouillage du canal de la Marne au Rhin ; ils seront étudiés avec l'alimentation de ce dernier canal.

La partie du versant de la Moselle comprise entre Flavigny et Épinal, le bief des Vosges, le versant de la Saône et l'embranchement de Nancy, font chacun l'objet d'un des chapitres qui suivent.

Alimentation du versant de la Moselle, partie comprise entre Flavigny et Épinal.

Entre Flavigny et Épinal on a établi, sur une longueur de 51 kilomètres, onze prises d'eau qui sont alimentées, soit directement par la Moselle, soit par des canaux usiniers ou d'irrigation.

Le tableau ci-après résume les principales données numériques relatives à l'alimentation de ce versant, en commençant par l'aval :

DÉSIGNATION		LON- GUEUR des PARTIES ali- mentées.	DÉBIT des PRISES d'eau par 24 heures.	CONSOM- MATION MOYENNE par 24 heures et par mètre courant.
DES PRISES D'EAU.	DES PARTIES ALIMENTÉES.			
	kil.	kil.	m ³ .	m ³ .
Roville	De Haute Flavigny à Bayon. (56 à 48)	12	115 000	10
Chaudrupt.	De Bayon au moulin de Chaudrupt (48 à 51)	5	11 000	4
Bainville	De Chaudrupt à Bainville. (51 à 52)	1	6 000	6
Grippport	De Bainville à Grippport . . (52 à 55)	5	70 000	25
Charmes	De Grippport à Charmes . . (55 à 61)	6	105 000	17
Les Fouys	De l'aval de Charmes à l'é- cluse n° 27 (61 à 68)	7	49 000	7
L'Aivière.	De l'écluse 27 à l'écluse 26. (68 à 70)	2	31 000	15
Igney.	De l'écluse 26 à l'écluse 25. (70 à 75)	5	48 000	10
Canal d'irrigation Christophe	De l'écluse 25 à l'écluse 21. (75 à 77)	2	22 000	11
Chavelot	De l'écluse 21 à Chavelot . (77 à 81)	4	9 000	2
Canal d'irrigation Gérard	De Chavelot à l'écluse 16. (81 à 85)	2	28 000	14
Épinal	De l'écluse 16 à Golbey . . (85 à 84) et embranchement d'Épinal . . .	4	81 000	20
	Totaux et moyennes. . .	51	575 000	11

Les chiffres ci-dessus sont ceux relevés pendant le mois de septembre 1891 ; ils représentent le maximum des années moyennes ; mais ils peuvent être notablement dépassés dans une année exceptionnellement chaude ou quand les parois du canal sont desséchées à la suite d'un chômage.

Les chiffres de consommation, par 24 heures et par mètre courant, varient sensiblement d'un bief à l'autre : en été, le minimum ne descend jamais au-dessous de 1500 litres et le maximum est d'environ 25 mètres cubes, soit 50 fois plus que les prévisions de l'avant-projet.

En hiver, au moment des crues ou des grandes pluies, il se produit dans un grand nombre de biefs des sous-pressions et des rentrées d'eau qui réduisent beaucoup la consommation.

Certains biefs reçoivent même un excédent d'alimentation et dégorgeant, à l'aval, 500 ou 400 litres par seconde ou 50 000 mètres cubes par jour. La longueur de canal correspondante à ce débit étant d'environ 1 000 mètres, chaque mètre courant reçoit des sources un volume de 50 mètres cubes par 24 heures.

Dans ces conditions, aucune méthode d'étanchement n'est praticable. On ne pourrait obtenir de résultat qu'en relevant temporairement le plan d'eau pendant les crues ; mais, pour effectuer ce relèvement, il faudrait modifier les chemins de halage, les ponts supérieurs et la tête amont des écluses. D'autre part, l'ensemble des prises d'eau peut, en moyen étiage,

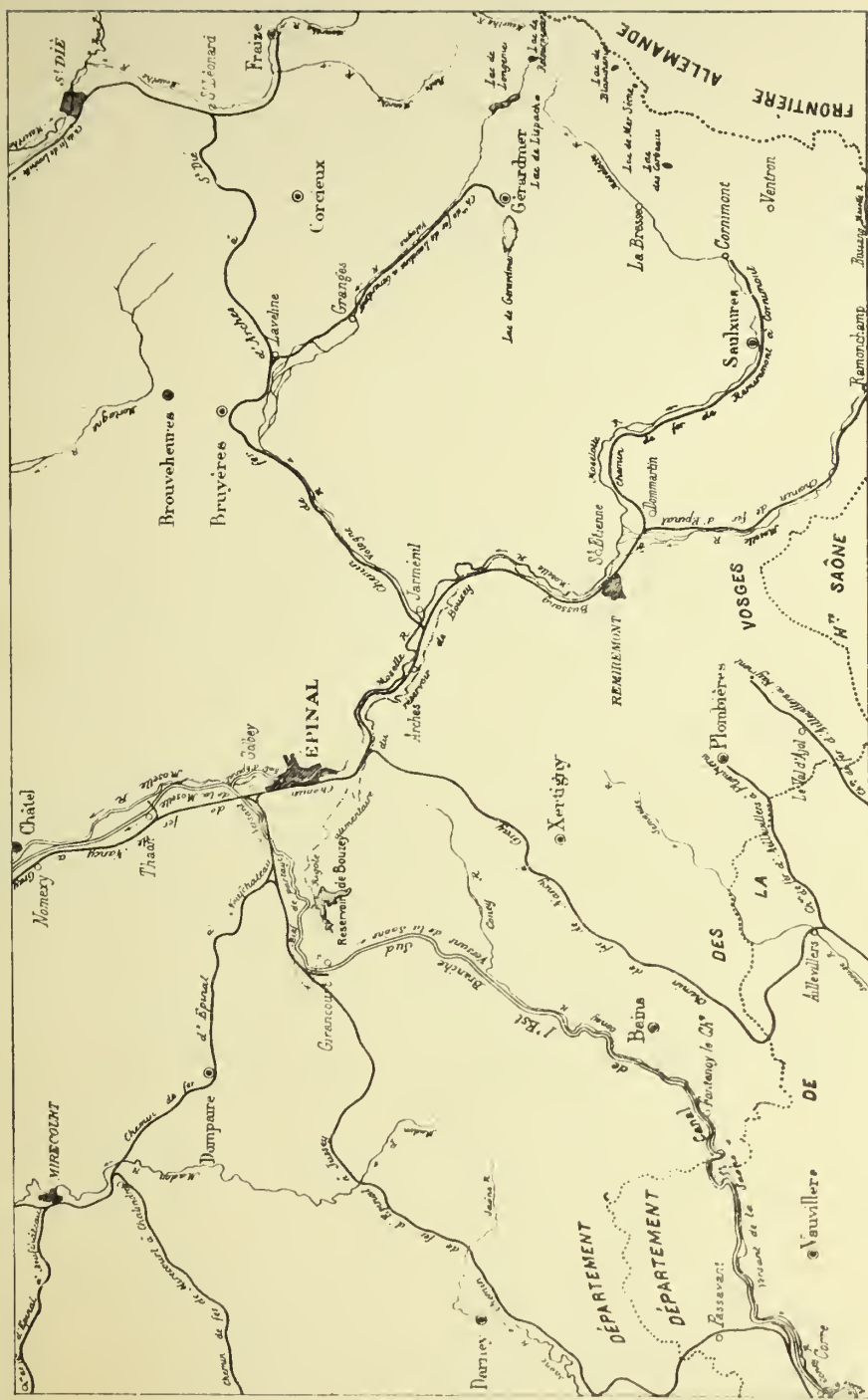
fournir par 24 heures 2 500 000 mètres cubes d'eau, soit près de cinq fois ce qui est nécessaire à l'alimentation.

Dès lors, il semble qu'il y a lieu de se résigner à accepter la présence de pertes importantes, sauf, bien entendu, sur les points exceptionnels où ces infiltrations seraient de nature à compromettre la stabilité des terrassements ou celle des ouvrages.

Il n'est pas sans intérêt de faire remarquer que, en général, les prises d'eau n'ont pas été établies exclusivement pour les besoins de la navigation. Presque partout on a pu utiliser des barrages déjà créés par des particuliers pour assurer le fonctionnement des irrigations ou celui d'usines plus ou moins importantes. Cette circonstance a permis de réduire très notablement les dépenses de premier établissement ; mais, en revanche, on a dû recourir à des combinaisons variées pour rendre l'alimentation du canal indépendante de celle des irrigations et des usines : à cet effet, les prises d'eau ont été multipliées, comme l'indique le tableau ci-dessus, ce qui leur permet de se suppléer mutuellement quand les particuliers veulent réparer leurs moteurs ou suspendre temporairement leurs arrosages. On peut également partout, sauf sur une petite longueur de 500 mètres, vider le canal sans gêner le fonctionnement des concessions d'eau privées. Le système fonctionne bien, sans soulever de conflits avec les usagers, et sans avoir obligé jusqu'ici l'administration à payer à ceux-ci d'indemnités importantes, même pour les usines ayant une existence légale. C'est un résultat assez rare dans l'histoire des canaux pour qu'il paraisse intéressant de le signaler ici. Nous ajouterons toutefois que, quand des réparations deviennent nécessaires aux barrages de prise d'eau, l'administration, qui utilise ces barrages, s'entend généralement à l'amiable avec les concessionnaires pour supporter une part équitable des dépenses d'entretien ; dans ce cas, elle assume la direction des travaux dont l'exécution opportune est de la plus haute importance pour le maintien permanent de la navigation.

Alimentation du bief de partage des Vosges.

L'alimentation du bief de partage des Vosges s'effectue au moyen d'un réservoir de 7 000 000 de mètres cubes de capacité créé à Bouzey, près d'Épinal. L'avant-projet, dressé en 1872, évaluait à 45 000 mètres cubes par jour les besoins du bief de partage des Vosges. Pour y faire face, on avait projeté deux prises d'eau dans les rivières de Moselle et de Vologne, un peu en amont de leur confluent, c'est-à-dire à Éloyes et à Cheniménil. Les deux rigoles de 4 kilomètres chacune se réunissaient près de Pouxieux en une seule de 22 kilomètres de longueur dont la section était prévue pour un débit de 1 mètre cube par seconde ou 86 000 mètres cubes par jour. On avait admis que le volume d'eau nécessaire au bief de partage, soit 45 000 mètres cubes, augmenté des pertes en route, pourrait être prélevé sur le débit total des deux cours d'eau pendant six mois de chaque année sans dommages pour les usines et les irrigants (*Voir* planche II).



Pendant les six autres mois, on comptait recourir à des réservoirs aménagés dans les lacs supérieurs des Vosges et capables de fournir à la Vologne 10 000 000 de mètres cubes, soit un peu plus de 50 000 mètres cubes par jour :

Le lac de Gérardmer	devait donner	5 millions 1/2 de mètres cubes.
Celui de Longemer	—	5 millions —
Celui de Retournemer	—	1 million 1/2 —

Enfin, on prévoyait près du bief de partage, à Bouzey, un réservoir de 4 000 000 de mètres cubes, spécialement destiné à rendre les remplissages plus rapides après les chômages d'été, ou à assurer l'alimentation du bief de partage au moment d'une fréquentation exceptionnelle.

Les dispositions de cet avant-projet n'ont pas été exécutées, on a craint les inconvénients suivants :

La rigole, en raison de ses propres pertes en route, n'aurait pu amener au bief de partage le volume prévu ;

Le règlement des prises d'eau, s'effectuant sur deux points et à 26 kilomètres du lieu d'emploi, aurait pu donner lieu à des difficultés sérieuses ;

Le réservoir de Bouzey, absorbant toutes les eaux de son bassin au moment où elles sont habituellement utilisées par l'industrie, alors très florissante, de la féculerie, on aurait pu avoir à payer des indemnités considérables.

La digue prévue en terre aurait dû être exécutée en maçonnerie, faute de terrassements convenables à proximité.

L'étude du débit naturel du bassin versant du réservoir de Bouzey, pendant quatre années, portait à penser que la réserve de 4 000 000 de mètres cubes ne pourrait jamais être intégralement constituée ;

Enfin, dans la saison sèche, on s'exposait à des réclamations incessantes de la part des usiniers de la Vologne et de la Moselotte établis en aval de la dérivation de Cheniménil. On aurait eu beau ne reprendre à la rivière qu'une portion du volume d'eau provenant des lâches faites dans les lacs, il eût été difficile de prouver que ces lâches devaient arriver intégralement aux prises d'eau : elles pouvaient être absorbées déjà en grande partie par l'imbibition et l'évaporation sur une étendue de près de 600 hectares de prairies irriguées, dans le parcours intermédiaire entre les lacs et les prises d'eau. Dans ce même intervalle, de nombreuses usines marchent en été par échusées, d'où une nouvelle difficulté dans le réglage des deux prises d'eau.

Frappés de ces inconvénients, les ingénieurs se sont demandé s'il n'était pas possible de tirer un parti plus complet des immenses ressources dont on disposait avec les lacs de la Vologne et les crues de la Moselle.

Étant donnée la nécessité d'un réservoir coûteux à Bouzey, il semblait avantageux d'agrandir ce réservoir et d'y emmagasiner les eaux de la rigole alimentaire.

A la rigole bifurquée de l'avant-projet, débitant 1 mètre cube par seconde, on a substitué une rigole à branche unique dérivée de la Moselle, près de Remiremont, capable de débiter 2 mètres cubes par seconde et aboutissant au niveau de la retenue maxima du réservoir de Bouzey. La capacité de ce réservoir a été portée de 4 000 000 à 7 000 000 de mètres cubes. 247

L'idée de l'aménagement des lacs supérieurs de la Vologne n'a pas d'ailleurs été abandonnée : on en a seulement modifié les dispositions en vue d'utiliser pour l'alimentation de la rigole les réservoirs à créer, et, comme ces réserves n'étaient pas immédiatement nécessaires pour les besoins du canal, on en a subordonné la réalisation au concours financier des industriels et agriculteurs intéressés.

L'idée générale du nouveau système d'aménagement était la suivante : Le lac de Gérardmer, dont les bords sont garnis d'habitations de plaisance de plus en plus nombreuses, n'aurait pu fournir les 5 millions $\frac{1}{2}$ de mètres cubes de l'avant-projet sans inconvénient pour la salubrité et sans dommage pour l'agrément pittoresque de ses rives, aujourd'hui si fréquentées par les touristes ; on se contentait d'y prendre 1 million de mètres cubes, et encore ce prélèvement n'aurait-il eu lieu qu'en octobre, au moment où tous les touristes ont quitté les Vosges. Au contraire, la capacité utile du lac de Longemer était portée de 5 millions à 7 millions $\frac{1}{2}$ de mètres cubes : rien n'était changé à la capacité du lac de Retourner, évaluée à 1 million $\frac{1}{2}$ de mètres cubes. Au lieu de déverser cette réserve de 10 millions de mètres cubes dans la Vologne, dont le confluent est à 15 kilomètres en aval de Remiremont, on la ramenait, au moins en partie, en amont de cette ville, en déversant le lac de Longemer dans celui de Gérardmer et en rétablissant l'écoulement de celui-ci dans la vallée de Tholy qui lui servait d'exutoire avant la période glaciaire vosgienne. Il suffisait pour cela de percer un souterrain de 460 mètres de longueur à travers la moraine frontale qui sépare le lac de Gérardmer de la vallée du Tholy. On comprend d'ailleurs qu'il eût été facile de répartir la réserve de 10 millions de mètres cubes entre les deux vallées de la Vologne et du Tholy, au prorata de l'importance des offres pécuniaires faites par les divers intéressés.

Nous ne nous arrêterons pas davantage à ces ingénieuses combinaisons qui sont restées à l'état de projets, et nous allons donner quelques détails sur les travaux exécutés entre Remiremont et Bouzey.

La rigole d'alimentation se détache de la Moselle en amont du barrage usinier dit de Saint-Étienne, près de Remiremont, traverse le champ d'inondation de la Moselle et vient s'accoler aux montagnes de la rive gauche, parallèlement au tracé du chemin de fer de Remiremont à Épinal. Quittant bientôt le fond de la vallée, elle s'accroche aux flancs abrupts de nombreux vallons et contreforts secondaires. Après avoir traversé en siphon les vallées profondes de la Niche et d'Arches, le tracé coupe en souterrain, sur 217 mètres de longueur, le promontoire de la Louvière, traverse le

vallon de Dinozé, passe sous le chemin de fer de Nancy à Gray, franchit le vallon de Bertraménil et parvient dans la gorge de Bénaveau.

Du fond de cette gorge, la rigole passe dans le vallon d'Olima par un souterrain de 1 540 mètres de longueur et du vallon d'Olima dans la dépression du ruisseau des Forges par un autre souterrain de 1 555 mètres de longueur. Enfin, le tracé coupe en tranchée le faite peu élevé qui domine le village de Sanchey et va déboucher à l'extrémité Est de la digue du réservoir de Bouzey.

Une rigole auxiliaire de 951 mètres de longueur permet de verser directement les eaux alimentaires dans le bief de partage, sans les faire passer par le réservoir.

Cette rigole se détache de la rigole principale à la sortie de la tranchée de Sanchey et elle aboutit au canal par une série de chutes ou gradins, disposés de façon à racheter une différence de niveau de plus de 12 mètres.

C'est à l'aide de siphons qu'a lieu la traversée des dépressions profondes formées par les vallons de la Niche, d'Arches, de Dinozé et de Saint-Laurent. Les deux premiers de ces siphons sont en bois et les deux autres en fonte. Ces derniers comprennent trois cours de tuyaux, de 1 mètre de diamètre intérieur, espacés de 2 mètres d'axe en axe.

Les conduites en bois se composent également de trois files de tuyaux de 1 m. 15 de diamètre. Chaque tuyau est formé de douves en sapin serrées au moyen de cerclés en fer feuillard. Au droit des chemins, les tuyaux sont en chêne. Les tuyaux sont coniques et s'emboîtent les uns dans les autres.

Les conduites en fonte, comme celles en bois, ont été enterrées de manière que le dessus des tuyaux soit recouvert d'une couche de remblai d'environ 1 mètre d'épaisseur qui les protège contre les grandes chaleurs et contre les gelées. Malgré cette précaution, la conservation des joints étanches paraît présenter des difficultés assez sérieuses en ce qui concerne les tuyaux en bois, ils se vident rapidement pendant les périodes sèches où l'alimentation de la rigole est normalement interrompue.

Les conduites passent au-dessus des cours d'eau qui occupent le fond des vallons au moyen d'aqueducs en maçonnerie : chaque file est munie d'un robinet de vidange.

Le passage sous le chemin de fer de Nancy à Gray se fait à l'aide d'un cinquième siphon, comprenant un tuyau unique en tôle rivée de 12 m. 40 de longueur et 1 m. 65 de diamètre intérieur. Celui-ci est posé dans une galerie maçonnée de 5 m. 20 de largeur. Le tuyau est prolongé en ciment sous les remblais des digues de la rigole et débouche dans des puisards verticaux pratiqués à l'amont et à l'aval dans l'axe de la cuvette.

Le profil en travers de la rigole a été calculé pour une portée de 280 000 mètres cubes par jour (5 mètres cubes par seconde) entre son origine au kilomètre 42 près de Remiremont et le kilomètre 54 près de Noiregney. Entre ce point et la vallée de Bertraménil, qui précède le souterrain de Bénaveau (kilomètre 7), la portée de la rigole est de 170 000 mètres cubes

par jour (2 mètres cubes par seconde). La section du souterrain de Bénéveau, ainsi que celle de la rigole qui lui fait suite dans la vallée d'Olima, ont été déterminées pour une portée de 500 000 mètres cubes. Enfin la section du souterrain de la Bourieure et celle de la rigole jusqu'au réservoir de Bouzey ont été exécutées pour un débit de 550 000 mètres cubes par jour. La branche secondaire qui peut amener directement les eaux au bief de partage a été établie pour un débit journalier de 86 000 mètres cubes.

On avait été amené à adopter ces différentes sections afin de pouvoir utiliser les eaux de pluie superficielles provenant des vallons de Bertraménil et d'Olima; mais les espérances conçues à cet égard ne se sont pas réalisées; les ruisseaux de Bertraménil et d'Olima ne donnent presque jamais lieu à des crues utilisables; en basses eaux on était exposé aux réclamations des usiniers et des irrigants; en hautes eaux, on risquait de compromettre la sécurité de la rigole qui n'est pas munie de déversoirs régulateurs suffisants. On a donc renoncé définitivement à recevoir les eaux de ces vallons.

D'autre part, les pertes propres de la rigole sont notablement plus grandes qu'on ne l'avait prévu. Pour un débit initial de 210 000 mètres cubes pris dans la Moselle à Remiremont, il n'en arrivait guère qu'un tiers, soit 70 000 mètres cubes, à Bouzey en octobre 1885. Depuis cette époque on a exécuté de nombreux étanchements au moyen de répandages d'argile sableuse. Au mois de mai 1891, pour un débit initial de 150 000 mètres cubes, il arrivait à Bouzey 90 000 mètres cubes. Au lieu de perdre 140 000 mètres cubes, ou plus de 4 mètres cubes par mètre courant de rigole non revêtue, comme en 1885, on n'en perd plus que 60 000, ou moins de 2 mètres cubes par mètre courant.

Dès lors l'expérience paraît avoir prouvé qu'il eût été plus avantageux d'augmenter la portée de la rigole dans sa partie d'amont et de la réduire un peu plus en aval : en adoptant, par exemple, une portée décroissant graduellement de 400 000 mètres cubes à Remiremont à 250 000 à Bouzey, la section de la rigole eût été probablement mieux utilisée qu'elle ne l'est aujourd'hui.

La longueur de la rigole principale est de 42 871 mètres; elle se décompose ainsi qu'il suit :

	kil.
Section normale (talus en terre).	55,074
Galeries annulaires en briques. 2 261	} 4,561
Cuvettes maçonnées. 2 100	
Siphons.	985
Souterrains.	5,522
Total.	41,940
Rigole auxiliaire.	951
Longueur totale.	42,871

La pente totale de la rigole est de 8 m. 40, soit en moyenne 20 centi-

mètres par kilomètre, elle est répartie inégalement suivant le type des profils en travers.

Les principaux types sont les suivants :

1° Profil en terre avec 1 m. 70 de largeur au plafond, 1 m. 50 de mouillage normal, des talus à 5 de base pour 2 de hauteur. Les digues ont 1 m. 50 de largeur en couronne et sont arrasées à 2 mètres au-dessus du plafond.

2° Profil murailé : 2 m. 40 de largeur au plafond, des murs inclinés à 1 de base pour 4 de hauteur et présentant une épaisseur moyenne de 70 centimètres.

3° Profil annulaire : un anneau de briques de 11 centimètres d'épaisseur, 2 m. 40 de diamètre intérieur, avec enduit en ciment et renforts de 11 centimètres d'épaisseur et 34 centimètres de largeur tous les 3 ou 4 mètres.

4° Profil en souterrain présentant 1 m. 96 de largeur au radier, 2 m. 42 aux naissances, une voûte en plein cintre de 25 centimètres d'épaisseur, des pieds-droits de 48 centimètres de hauteur et 25 centimètres d'épaisseur, et un radier concave avec 12 centimètres de flèche.

5° Les divers siphons déjà décrits.

En règle générale, on a admis une pente de 10 centimètres par kilomètre pour les profils en terre, de 20 centimètres pour les conduites et revêtements en maçonnerie, de 60 centimètres pour les souterrains et de 2 mètres pour les siphons.

La rigole est établie, sur presque tout son parcours, au flanc de coteaux abrupts, formés d'un sable très léger provenant de la désagrégation du grès vosgien et du grès bigarré. Aussi, dans un terrain aussi peu résistant, les ruptures de digues sont-elles des accidents relativement fréquents. Mais ils sont faciles à réparer, et comme la rigole est presque partout revêtue en maçonnerie dans le voisinage des lieux habités, les dommages causés par les ruptures ont été généralement insignifiants.

L'une des parties de la rigole les plus intéressantes au point de vue des ouvrages hydrauliques est celle qui traverse le champ d'inondation de la vallée de la Moselle, immédiatement en aval de la prise d'eau de Remiremont. On a dû, après l'exécution, rendre les ouvrages de prise d'eau absolument insubmersibles et barrer la rigole par une série de ventelleries mobiles que l'on ferme au moment des débordements. Il était à craindre, en effet, que la rigole ne déterminât, en travers de la vallée, la formation d'un nouveau bras de rivière, ou peut-être même d'une déviation de la Moselle qui aurait compromis le fonctionnement de plusieurs usines très importantes et détruit de magnifiques prairies irriguées d'une grande valeur.

Nous mentionnerons également ici les modifications qui ont été apportées, en 1890, aux dispositions de la rigole à la traversée des quatre grands vallons d'Olima, de Bénaveau, des Tournées et des Champs de Damas. Le

fond et les versants de ces vallons sont formés d'une épaisse couche de sable qui absorbe les eaux pluviales tant que celles-ci n'atteignent pas en quelques heures une hauteur de plus de 40 millimètres. Aussi, les quatre petits cours d'eau qui coulent au fond de ces vallons sont-ils très réguliers et on s'était en à l'abri de tout accident en donnant aux aqueducs établis sous la rigole une section double des ouvrages d'art existant sous les voies de communication voisines. Mais il s'est produit, le 28 juin 1885, un orage d'une intensité exceptionnelle, qui a donné plus de 80 millimètres d'eau en deux heures : les aqueducs ont été insuffisants, l'eau a envahi la rigole, et, après l'avoir remplie, elle a rompu les digues d'aval. Les dommages causés ont dépassé un demi-million de francs et, après une longue procédure, on a admis que la présence de la rigole avait aggravé d'environ 50 pour 100 les dommages qui se seraient produits avant sa construction : les intéressés ont reçu des indemnités montant à près de 200 000 francs. Il importait de mettre l'État à l'abri de toute nouvelle réclamation dans le cas où une circonstance analogue viendrait à se reproduire. A cet effet, on a prolongé, sous le fond du vallon, les deux souterrains de la Bourieure et de Bénaveau. Dans les deux autres vallées on a fait passer les eaux de la rigole dans des siphons en béton de ciment. L'écoulement des crues extraordinaires se trouve ainsi complètement assuré.

Le réservoir de Bouzey est formé par un barrage en maçonnerie établi en travers de la vallée de l'Avière, à 500 mètres en amont d'une ancienne féculerie que l'État a dû exproprier et dans laquelle il a créé un établissement national de pisciculture.

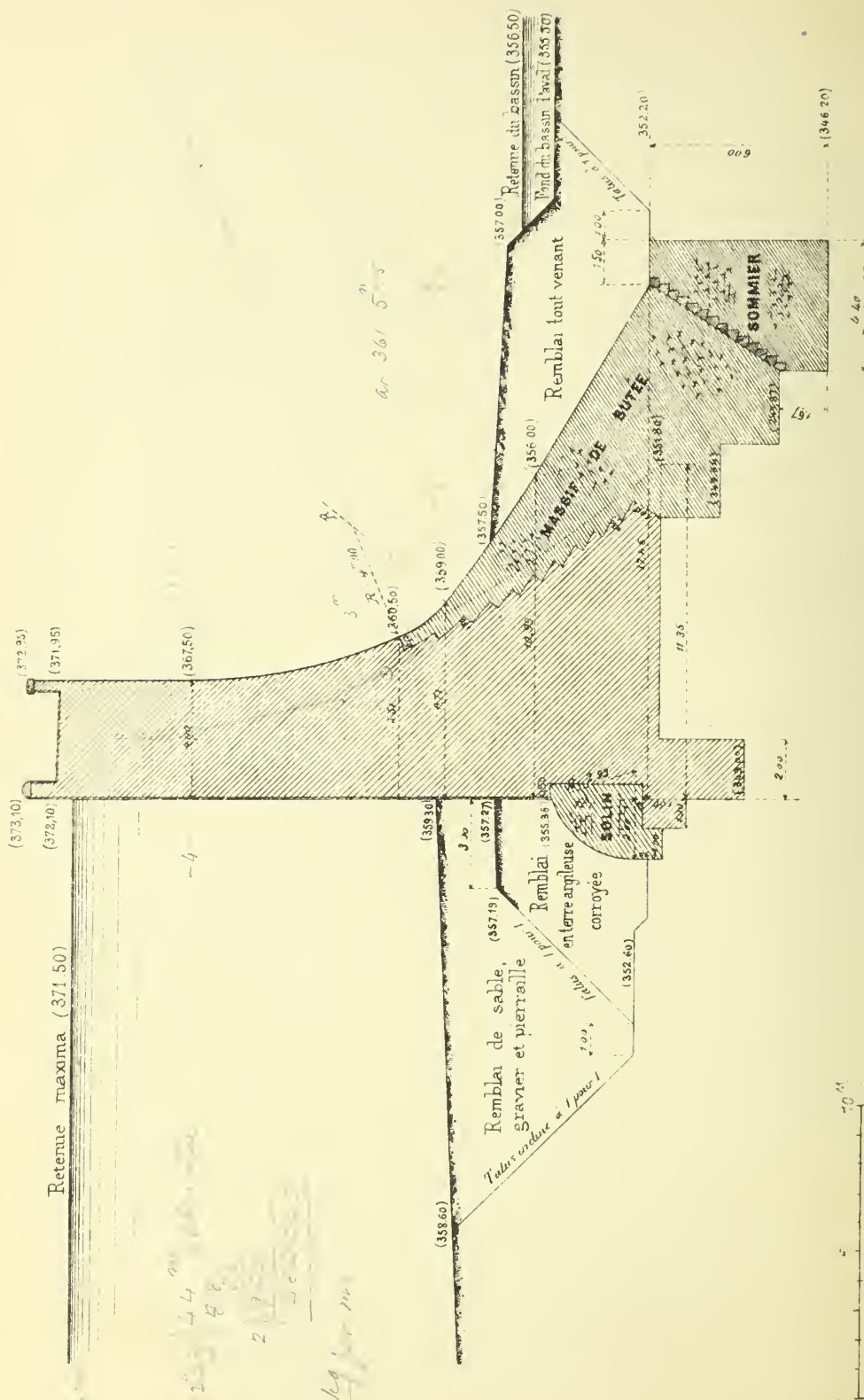
L'axe de la digue est complètement rectiligne. Sa longueur est de 452 mètres au niveau du terrain naturel sur les deux rives, et de 520 mètres en tenant compte des prolongements souterrains.

La hauteur maxima est de 22 mètres, la largeur en couronne est uniformément de 4 mètres et la largeur maxima, à la base, était de 14 m. 80 : elle a été portée à 19 m. 50 à la suite des travaux de consolidation exécutés en 1888. Le massif de la digue est fondé sur les assises supérieures de l'étage du grès bigarré : ce terrain est assez fissuré, mais un mur de garde de 2 mètres d'épaisseur a été descendu, au droit du parement d'amont, jusqu'au terrain présumé imperméable.

La retenue du barrage est à la cote 571,50 du nivellement général de la France.

Les dimensions principales correspondant à cette retenue sont les suivantes :

Superficie.	1 278 000 ^{m²}
Contenance totale.	7 094 000 ^{m³}
Plus grande largeur dans la direction de la vallée de	
• Renauvoid.	4 900 ^m
Et dans celle d'Ambafosse.	2 100 ^m



Bongy Dam - cont?

Accident of 1884 - Many cracks in the masonry, in the back & the face - and especially a large vertical crack at 243 which went through the wall, and an oblique crack starting from the vertical fissure, which showed a little part horizontal at 360.50. Experts declare water should not have been raised above ^{normal} original height 369.50. which would supply enough water for the traffic of the Canal, though the depths might be reduced to 2^m.

Ans? Since the ministerial decree of 1880, the water has been kept at 371.50, which has been recognised always in reports, letters, returns & to the Ministry, that through error of calculation. 7,000,000 m³ are req^d for 500,000 tons & this cannot be obtained with water at less height.

Conseil Général des Pet C say [they disapproved on] the accident was due to the raise of 2^m in height of water surface which was made against their advice of Sept. 1. 1880, and secondly to the cracks caused later, and especially the horizontal crack, and the

want of bond of the masonry.

Maurice Lévy says mortars at junction of Hammes with old masonry were damaged by frost in winter of 1894-5. That the wall above slid into weakened base & was overthrown.

M. Dony & Haussier reply. height of 371.50 was necessary to give quantity originally supposed to be furnished by 369.50. reported constantly & no objection. That the depths of canal fixed by law at 2.10, & same as of Connectors Canals - could not be reduced by them.

M. Malley. The adv^{ce} of 2^m has been the most important cause. It has moved line of pressure too near the face of the Dam - to within 1^m at 361.

Borzy dam. - Ann. de Pet C. N° 127. 28 May 1897

Works commenced 1878, Completed 1880, water let in Nov. 1881. Mch 14, 1884, water at + 368.80, the dam suddenly separated from the mur de garde and moved down stream in a disor of 135°. Looking for the cause of this accident it was found that the ground was broken and dislocated to a depth of 2-3 m that there existed at the upper foot of the dam a horizontal fissure 93 m long. in the mass of the masonry, back and face, numerous large fissures, and notably at 240 a vertical fissure which extended through the wall - an oblique fissure, ^{separating} distinct from it, with a short horizontal part @ 360. That the dam had a raised sine of 0.34". That the plan of M. Dupuy was approved July 1888. Consisting of a solin above, and a hammer below & the filling with grout all the cracks after widening the narrow ones. Done in 1888-9, except the grouting which the cracks would not take, & they were calked with tanned gasket. Refilling commenced Nov '89 - Completed to 371.00 May, 90
(5.45 AM)
27 April 1895, - The repairs had consolidated the lower part, but left the upper part à decouverte. The sliding of 1884, was an accident, that of

1892 was a catastrophe. Bull, Fleury et Langlois. Com. by judge ~~at~~
to examine cause of the accident - They reported 22 Jan'y + 20 Feb'y
1893 - that the accident was caused by the "traction" of the water on
the upstream face - that the dam was broken in its central part
@ 360.50 to 361.50, for a height of 10.50, and a length of about
170^m - the water was at 371.50, and broke the wall at 360-50
361.50 - That it would have been avoided if Mm Denys &
Hausser had not raised the water to full height immediately
after the repairs & left it there since - that so much water
was not needed and the masonry was in a precarious condition
to cause great ^{the missing public pretence} disquiet - The operation of the reservoir was mal
conduite for 3 years by Denys & Hausser, & mal surveillance by
Mm. Nolte & Fleury Insp. general

Decree of at Epinal - That Denys & Hausser - properly
fulfilled their duties in raising the water - & have committed no
fault - Ministerial decree of 1888 ordered res. filled to full height -
Experts' mistake saying normal ht was 169.50

Hauteur de la tranche d'eau disponible pour l'alimentation.	10 ^m ,50
Hauteur totale de la retenue depuis la cote 571,50 jusqu'au seuil de la vanne de vidange.	15 ^m ,00

La prise d'eau s'effectue au moyen d'un aqueduc pratiqué dans les maçonneries du barrage et pourvu de deux vauvages : l'un sert au règlement de la prise d'eau et l'autre constitue une vanne de garde : chaque vanne est formée par une simple feuille de tôle de blindage de 50 millimètres d'épaisseur raidie sur sa tranche inférieure par une cornière de $0,10 \times 0,10$. La tige de manœuvre de 15 mètres de longueur est formée d'un fer rond, plein, de 6 centimètres de diamètre qui passe à travers un tube creux de 11 centimètres de diamètre extérieur; les deux tiges sont solidarisées en haut et en bas par de larges écrous : le tout est manœuvré au moyen de crics d'une force de 8000 kilogrammes. Ce système, d'une très grande simplicité, fonctionne de la manière la plus satisfaisante.

La bonde de fond est construite d'une manière analogue en tôle de 55 millimètres d'épaisseur.

Le réservoir est mis en communication avec le bief de partage par une rigole de 441 mètres de longueur dont les dimensions ont été déterminées en vue d'un débit de 500 000 mètres cubes par 24 heures (5 mètres cubes par seconde). Le remplissage du bief de partage et de ses annexes, après un chômage, s'effectue en trois jours.

La digue de Bouzey (Planche I) a donné lieu, après sa mise en service, à d'importants travaux de consolidation. Le 15 mars 1884, la retenue atteignait pour la première fois la cote 568,80, c'est-à-dire 15 mètres au-dessus du sol naturel et le volume d'eau emmagasiné était de 4 700 000 mètres cubes.

Sous l'influence de la charge, la digue a subi dans sa partie médiane un mouvement d'une certaine gravité. Le massif du barrage s'est déplacé tout entier vers l'aval en s'infléchissant suivant une courbe à peu près régulière de 120 mètres de longueur et 50 centimètres de flèche. La digue n'a subi ni affaissement ni déversement, mais un simple mouvement de translation horizontale.

Cette déformation a occasionné au centre et aux extrémités de la courbe, et surtout dans le terrain de fondation, de nombreuses fissures qui donnaient passage à 50 000 mètres cubes d'eau par 24 heures environ.

Il a été reconnu que cet accident devait être attribué à l'état de fissuration préalable du terrain de fondation. Le mur de garde établi à l'aplomb du parement d'amont du barrage n'avait pu empêcher les eaux de pénétrer dans les fissures et d'y développer des sous-pressions verticales importantes. Ces sous-pressions, en diminuant le poids de la digue, avaient permis à la poussée horizontale de faire glisser tout le massif sur sa base en le détachant du mur de garde. Les travaux de consolidation exécutés en 1888 et 1889 ont été les suivants.

En aval on a établi un sommier en maçonnerie de section trapézoïdale :

sa face d'aval est verticale, et elle s'appuie sur le rocher sur une hauteur minima de 5 m. 50; la face supérieure est horizontale et présente une largeur de 1 m. 50; la face d'amont, destinée à recevoir la butée de la digue, est dirigée normalement au parement extérieur de celle-ci, c'est-à-dire avec un fruit d'environ 5 de base pour 5 de hauteur. Entre le sommier et le pied de la digue on a établi un massif de butée ayant sensiblement la forme d'un triangle rectangle dont la petite base de 5 mètres de longueur s'appuie sur le sommier : la grande base, d'environ 14 mètres de longueur, forme le nouveau parement d'aval du barrage, et l'hypoténuse, taillée par redans, se relie avec l'ancien parement. Les maçonneries du sommier sont assisées horizontalement et celles du massif de butée le sont normalement au nouveau parement d'aval.

L'empiètement de la digue se trouve ainsi augmenté horizontalement de 50 pour 100, et en outre la partie de la poussée qui pourrait ne pas être détruite par le frottement horizontal de la digue sur sa base, est contre-butée par une surface d'appui de 5 à 6 mètres carrés par mètre courant. Sous la face d'amont du sommier est établi un dallot de 40 sur 40 centimètres qui reçoit les eaux d'infiltration et les évacue par des aqueducs transversaux et des puisards verticaux établis en saillie sur le parement d'aval du sommier.

Au-dessous de la digue, on a enlevé en sous-œuvre, au moyen de galeries blindées, toutes les parties du terrain de fondation qui avaient été particulièrement disloquées par suite du déplacement du barrage ou du passage prolongé des filtrations, et on les a remplacées par de la maçonnerie de ciment soigneusement bourrée au mortier pulvérulent. Enfin, en amont de la digue, on a nettoyé à vif et bourré en mortier de ciment la fissure qui séparait le corps du barrage du mur de garde, et on a recouvert cette fissure d'un solin en maçonnerie dont la section a la forme d'un quart de cercle de 2 m. 50 de rayon. Ce solin est lui même recouvert d'un massif en argile corroyée de 5 mètres d'épaisseur minima.

Depuis l'exécution de ces travaux, le réservoir a pu être rempli à sa retenue normale, sans qu'aucun mouvement nouveau se soit manifesté.

Le drainage établi sous la partie d'aval de la digue ne donne que des eaux parfaitement claires dont le débit maximum atteint 8000 mètres cubes par 24 heures quand le réservoir est plein.

Pendant toute la durée des travaux, le bief de partage a été alimenté directement par les eaux de Remiremont au moyen de la rigole auxiliaire. La force motrice dont se trouvaient privées les importantes usines de la vallée de la Moselle leur a été intégralement restituée au moyen de machines à vapeur de secours, installées à cet effet dans chacun des établissements industriels.

Il paraît intéressant de rendre compte du fonctionnement du système d'alimentation qui vient d'être décrit, en mettant en regard les prévisions du projet d'alimentation avec les données numériques que fournit aujourd'hui une expérience de six années.

	D'APRÈS les PRÉVISIONS du projet.	D'APRÈS les CONSTATATIONS faites en 1891.
A. — Évaluation des besoins.	m. c.	m. c.
1° <i>Écluses.</i> — On prévoyait 51 écluses par jour à 625 mètres cubes, soit 52 000 mètres cubes par 24 heures et pour 500 jours de navigation.	9 600 000	
Le nombre moyen des écluses ne dépasse pas actuellement 14 par jour à raison de 700 mètres cubes, la consommation correspondante est de 14×700 , soit 10 000 mètres cubes et pour 500 jours de navigation.		5 000 000
2° <i>Pertes du bief de partage par infiltration, évaporation, imbibitions.</i> — A raison de 0 m. c. 500 par mètre courant et par 24 heures, sur 21 kil. 800, on prévoyait 11 000 mètres cubes par 24 heures et pour 500 jours. . .	3 500 000	
En réalité, les pertes de cette nature s'élèvent à 22 000 mètres cubes par 24 heures, soit 1 mètre cube par mètre courant et par 24 heures. Cette perte doit être comptée pendant toute l'année, car pendant les gelées le bief doit être maintenu en eau, ci.		8 595 000
3° <i>Remplissage général éventuel du bief après un chômage d'été.</i>	600 000	800 000
4° <i>Pertes propres de la rigole de Bouzey.</i> — Avant-projet : $0^{\text{m}3},250 \times 42^{\text{kil}} \times 160$ jours.	1 680 000	
d'après les constatations les plus récentes : $2^{\text{m}3} \times 42 \times 160$.		15 440 000
5° <i>Pertes propres du réservoir.</i> — L'avant projet ne tenait pas compte de ces pertes que l'on supposait compensées par les eaux provenant du bassin versant. Il paraît rationnel de tenir compte de cet élément, malheureusement difficile à évaluer. Quand le réservoir est plein, ses pertes propres atteignent de 15 à 16 000 mètres cubes par jour; mais elles diminuent au fur et à mesure que la retenue s'abaisse. Nous estimons qu'en moyenne ces pertes sont d'environ 11 000 mètres cubes par jour, soit pour l'année de. . .		4 000 000
TOTAL DES BESOINS	15 180 000	29 635 000
B. — Évaluation des ressources.		
On comptait pouvoir prélever 2 mètres cubes par seconde sur le débit de la Moselle à Remiremont pendant 160 jours par an, soit en tout.	27 648 000	
Jusqu'ici l'expérience permet d'admettre que cette prévision était bien établie. Le régime de la rivière a été cependant tout à fait différent de celui qui résultait des observations recueillies entre 1858 et 1875. Depuis quelques années, les hivers sont secs et froids, et l'alimentation est suspendue		
A reporter.	27 648 000	

	D'APRÈS les PRÉVISIONS du projet.	D'APRÈS les CONSTATATIONS faites en 1891.
	m. c.	m. c.
<i>Report.</i>	27 648 000	
depuis la fin de décembre jusqu'au commencement de mars; mais les étés sont humides, et nous avons pu alimenter jusqu'au mois d'août. En outre, on n'avait pas tenu compte de toutes les journées où l'excédent disponible à Remiremont dépasse 4 mètres cubes, ce nombre de jours est en réalité assez considérable, il vient fournir un appoint d'autant plus important que, quand on diminue l'alimentation à Remiremont, les pertes diminuent dans la rigole; ainsi, pour un prélèvement de 190 000 mètres cubes à Remiremont, on en reçoit que 100 000 à Bouzey, tandis que sur 90 000, on n'en reçoit encore 60 000. On peut donc compter sur le chiffre prévu de.		27 648 000
2° Il convient d'y ajouter les ressources propres du bassin versant du réservoir de Bouzey. Le débit des cours d'eau qui se jettent dans le réservoir varie, par mois, de 450 000 à 150 000 mètres cubes. On peut donc compter sur une moyenne mensuelle de 300 000 mètres cubes, soit par année, un débit de.		56 000 000
correspondant à une hauteur de 0 m. c. 22 pour une étendue de 1 650 hectares de bassin versant.		
TOTAL DES RESSOURCES.	27 648 000	51 248 000
RAPPEL DES BESOINS.	15 180 000	29 655 000
EXCÉDENT DES RESSOURCES	12 468 000	1 613 000

Cet excédent serait complètement absorbé par une augmentation du trafic annuel correspondant au passage de 1 150 bateaux seulement, en sus des 2 100 passages indiqués précédemment.

Mais, si cette éventualité vient à se produire, il suffirait, pour y remédier, de bétonner la rigole d'alimentation, de manière à réduire ses pertes propres à 500 ou 400 litres par mètre courant et par 24 heures. On pourrait ainsi gagner les 10 ou 11 millions de mètres cubes qui suffiront largement au trafic le plus intense qu'il soit permis de prévoir. Il serait d'ailleurs facile de procéder progressivement à cette opération de bétonnage, de manière à maintenir toujours les ressources au niveau des besoins, en proportionnant exactement les dépenses à faire aux nécessités du service.

La dépense totale de l'alimentation du bief de partage des Vosges s'est élevée à 7 258 000 francs, savoir :

	fr.		fr.
Rigole d'alimentation.	Travaux	5 090 000 »	3 889 000 »
	Indemnités et acquisitions de terrain.	799 000 »	
Réservoir de Bouzey.	Travaux	2 121 000 »	3 349 000 »
	Indemnités et acquisitions de terrain.	1 228 000 »	
Total de la dépense.			<u>7 258 000 »</u>

Nous avons vu plus haut que l'ensemble des ressources créées par ce système d'alimentation était de 51 248 000 mètres cubes ; le prix du mètre cube ressort donc à $\frac{7\,258\,000}{51\,248\,000} = 0 \text{ fr. } 252$.

Mais, sur 51 250 000 mètres cubes, il n'y en a que 5,500 000 réellement utilisables pour les éclusées et le remplissage, le reste est absorbé par les pertes de la rigole, du bief de partage et du réservoir.

Le mètre cube réellement utilisable revient donc, comme prix de premier établissement, à $\frac{7\,258\,000}{5\,500\,000} = 1 \text{ fr. } 516$.

Le nombre de mètres cubes que l'on peut verser annuellement dans le bief de partage s'élève à 15 800 000.

Le mètre cube déversé revient donc à $\frac{7\,258\,000}{15\,800\,000} = 0 \text{ fr. } 524$.

L'intérêt et l'amortissement de cette somme, à 6 %, représentent ^{fr.} 0,051

Les frais d'entretien annuels sont d'environ 55 000 francs pour 15 800 000 mètres cubes, soit par mètre cube. 0,004

Dépense annuelle par mètre cube 0,055

En comptant le taux à 4 % au lieu de 6 %, ce prix s'abaisse à . 0,025

Le réservoir ayant une capacité de 7 094 000 mètres cubes, le prix du mètre cube de capacité ressort à $\frac{5\,349\,000}{7\,094\,000} = 0 \text{ fr. } 472$.

La rigole ayant une longueur de 42 kilomètres, le kilomètre est revenu à $\frac{5\,889\,000}{42} = 92\,600$ francs, dont 75 600 francs pour les travaux et

19 000 francs pour les indemnités et acquisitions de terrains.

Les terrassements ont été de 18 mètres cubes par mètre courant et ils ont été payés aux entrepreneurs, transports compris, à raison de 1 fr. 14 le mètre cube. La dépense correspondante par mètre linéaire est de 21 francs. La maçonnerie (y compris tous les accessoires, parements, chapes, cintres, taille, etc...) a été payée en moyenne 25 francs le mètre cube. Le cube moyen par mètre courant est d'environ un demi-mètre cube et la dépense de 13 francs. Les souterrains coûtent 250 francs le mètre linéaire ; les siphons ont été payés aux entrepreneurs 68 francs le mètre linéaire de conduite en bois, et 127 francs le mètre linéaire de conduite en fonte ; mais, si on y ajoute les ouvrages accessoires exécutés en régie et les frais

généraux, on arrive aux chiffres de 152 francs pour les siphons en bois et 209 francs pour ceux en fonte.

Le siphon en tôle sous le chemin de fer de Nancy à Gray, pour lequel la Compagnie a exigé la construction d'un passage inférieur spécial, revient à 400 francs le mètre courant.

Les siphons en béton de ciment reviennent, y compris tous les terrassements et ouvrages accessoires, à 860 francs le mètre courant, et l'allongement des souterrains à 525 francs.

La largeur moyenne d'emprise est d'environ 22 mètres, et la dépense moyenne d'acquisition, non compris les dommages causés par les ruptures de digues, est de $\frac{588\,000}{42\,000} = 14$ francs par mètre courant. Le prix du mètre carré ressort ainsi en moyenne à $\frac{14}{22} = 0$ fr. 64 ou 6 400 francs l'hectare.

Les indemnités pour dommages, à la suite de diverses ruptures et du grand orage de 1885, représentent une dépense de 5 francs par mètre courant ou de $\frac{211\,000}{588\,000}$, c'est-à-dire 5,4 % des dépenses totales de la rigole.

Pour le réservoir, les terrains acquis renferment 128 hectares et ont coûté $\frac{1\,228\,000}{128} = 9\,600$ francs l'hectare y compris divers bâtiments.

Les terrassements ont été payés à l'entrepreneur (y compris transport) $\frac{126\,209 \text{ fr. } 50}{69\,456 \text{ fr. } 09} = 1$ fr. 90.

En y ajoutant les dépenses sur la somme à valoir et les frais généraux, ils ressortent à $\frac{157\,000}{66\,456} = 2$ fr. 56.

Les maçonneries, y compris tous travaux accessoires, ont été payés à l'entrepreneur :

$$\frac{1\,007\,401^{\text{r}},89}{49\,228} = 20 \text{ fr. } 40 \text{ le mètre cube,}$$

et en y ajoutant une part proportionnelle de la somme à valoir et des frais généraux, ils ressortent à :

$$\frac{1\,244\,000}{49\,228} = 25 \text{ fr. } 25.$$

Pour les travaux de consolidation, les terrassements, y compris le corroi argileux et le déblai rocheux, ont été payés à l'entrepreneur

$$\frac{106\,785^{\text{r}},94}{39\,000} = 2 \text{ fr. } 74,$$

et les maçonneries $\frac{356\,750^{\text{r}},72}{17\,887} = 18 \text{ fr. } 81.$

Les mêmes prix, en y ajoutant la somme à valoir et les frais généraux, deviennent respectivement :

$$\frac{152\,000}{59\,000} = 5 \text{ fr. } 58 \text{ et } \frac{421\,000}{17\,887} = 23 \text{ fr. } 54.$$

Ces prix de maçonneries peuvent être considérés comme très bas, étant donné que les moellons venaient de 12 kilomètres, la chaux, du Teil à 586 kilomètres de distance et le sable, de Pont-Saint-Vincent à 70 kilomètres.

Le canal de l'Est, dans son ensemble, entre Givet et Port-sur-Saône, pour une longueur de 500 kilomètres, a coûté en nombre rond 102 millions.

L'alimentation du bief des Vosges représente 7 pour 100 de la dépense totale : le prix moyen du kilomètre de canal, déduction faite de la rigole et du réservoir de Bouzey, est de 190 000 francs, les travaux d'alimentation coûtent autant que 38 kilomètres de canal.

Alimentation du versant de la Saône.

Sur le versant de la Saône, la plupart des biefs sont ouverts dans les marnes des deux étages du Keuper et du Muschelkalk : aussi les grandes pertes par infiltration sont limitées aux sections ouvertes dans les assises calcaires de ces deux étages : on a pu y remédier en exécutant des bétonnages plus ou moins complets sur des longueurs relativement restreintes : bien qu'il reste encore certaines parties à bétonner, la consommation d'eau est beaucoup plus restreinte que sur le versant de la Moselle, ainsi que le montre le tableau suivant :

DÉSIGNATION		LON- GUEUR des PARTIES ali- mentées.	DÉBIT des PRISES d'eau par 24 heures en été.	CONSOM- MATION MOYENNE par 24 heures et par mètre courant.	OBSERVATIONS.
DES PRISES D'EAU.	DES PARTIES ALIMENTÉES.				
		km.	m ³ .	m ³ .	
Void de Girancourt.	Du kilomètre 102 au kilo- mètre 107.	5	5 000	1	Cette prise l'eau ne fonc- tionne qu'en hiver. — En été, cette sec- tion est ali- mentée par le bief de par- tage.
Médoménil	Du kilomètre 107 à l'écluse 19 (kilomètre 109). . .	2	5 000	1,500	
Prise d'eau du Co- ney.	De l'écluse 19 à l'écluse 25 (kilomètre 109 à kilo- mètre 115).	4	16 000	4	
Prise d'eau d'Har- sault.	De l'écluse 25 à l'écluse 29 (kilomètre 115 à kilo- mètre 120).	7	11 000	1,600	
Prise d'eau de lant- mongey	De l'écluse 29 à l'écluse 36 (kilomètre 120 à kilo- mètre 128).	8	11 000	1,400	
Prise d'eau de Mont- motier.	De l'écluse 36 à l'écluse 46 (kilomètre 128 à kilo- mètre 148).	20	56 000	2,800	
	Totaux et moyennes.	46	102 000	2,200	

Alimentation de l'embranchement de Nancy.

L'embranchement de Nancy (planche III) forme un petit canal à point de partage de 10 kilomètres de longueur reliant la branche sud du canal de l'Est au canal de la Marne au Rhin, la vallée de la Moselle à celle de la Meurthe.

Le canal ouvert sur toute son étendue dans des marnes imperméables ne paraît pas consommer plus de 1 500 litres par mètre courant et par 24 heures, soit environ 15 000 mètres cubes par 24 heures pour les filtrations. Il est franchi annuellement par 2 000 bateaux environ, soit un maximum de 14 bateaux par jour : chacun d'eux consommant 1 400 mètres cubes, c'est un maximum journalier de 20 000 mètres cubes. en y joignant les pertes, on voit que la consommation est de 35 000 mètres cubes par 24 heures.

L'alimentation est obtenue au moyen des eaux de la Moselle dérivées au barrage usinier de Flavigny. Elles sont amenées en partie par une rigole et en partie par le canal lui-même dans le bief inférieur du canal, refoulées à une hauteur de 12 mètr. 70 par une usine hydraulique établie à Messein et conduites à ciel ouvert au bief de partage dit du Mauvais-Lien. Les moteurs sont des roues turbines Girard de 7 mètres de diamètre à axe horizontal, actionnant directement chacune deux pompes doubles à piston plongeur. La production journalière peut s'élever à 46 000 mètres cubes. Les roues sont au nombre de trois dont une de rechange.

La hauteur de la chute motrice varie de 6 mètr. 90 à 5 mètr. 50 et le volume moteur est d'environ 2 mètres cubes par seconde,

A cette usine en est accolée une seconde qui assure l'alimentation de la ville de Nancy : l'eau destinée à la ville est puisée dans des galeries filtrantes de 400 mètres de longueur, établies le long de la Moselle dans les prairies qui en constituent le lit majeur et refoulée à 20 mètr. 70 de hauteur. Le rendement des pompes de la ville en eau montée peut s'élever à 35 000 mètres cubes par jour ; il ne dépasse pas habituellement 28 000 mètres cubes ; le maximum paraît être difficilement fourni par les galeries filtrantes, aussi la ville se propose-t-elle de les allonger en 1892.

Les dépenses spéciales de premier établissement de l'alimentation de la branche de Nancy se sont élevées à 858 000 francs, savoir :

	fr.	fr.
Rigole des eaux motrices.	555 000 »	
A déduire : la part de cette rigole à la charge de la ville de Nancy.	90 000 »	
Reste.		465 000 »
Machines.		205 000 »
Bâtiments.		117 000 »
Conduite ascensionnelle et rigole alimentaire.		71 000 »
		<hr/> 858 000 »

L'usine alimentaire de la ville a coûté environ 750 000 francs.

Ces chiffres ne comprennent pas les frais généraux et de personnel que

On peut évaluer à 4 pour 100, soit 54000 francs environ pour l'usine de l'État.

Les machines pouvant élever 46000 mètres cubes par 24 heures ou 554 litres par seconde à 12 mèl. 70, leur puissance est de 160 chevaux bruts ou de 92 chevaux utiles ; elles reviennent donc, non compris les frais généraux, à $\frac{858\ 000^f}{92} = 9500$ francs par cheval utile ou 5400 francs par cheval brut.

Ce chiffre se décompose comme il suit :

	PAR CHEVAL UTILE fr.
Rigoles des eaux motrices, non compris la part de la ville de Nancy.	5 000 »
Machines	2 200 »
Bâtiments.	1 500 »
Conduite ascensionnelle et rigole alimentaire.	800 »
Total pareil.	<u>9 500 »</u>

La quantité d'eau montée en moyenne dans ces dernières années n'a été en réalité que 8 868 000 mètres cubes par an ou 24500 mètres cubes par jour ou 281 litres par seconde ; il n'y a presque jamais qu'une seule machine en marche sur trois.

Les dépenses annuelles sont de 12 900 francs, savoir :

	fr.
Personnel commissionné 8800 francs, dont moitié à la charge de la ville.	4 400 »
Entretien (dont 605 francs pour usure des surfaces frotantes)	8 500 »
	<u>12 900 »</u>

soit par mètre cube déversé au bief de partage :

$$\frac{12\ 900^f}{8\ 868\ 000} = 0\ \text{fr.}\ 001.$$

L'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement s'élève .

an taux de 4 pour 100, à 54546 francs,

au taux de 6 pour 100, à 51519 francs,

soit par mètre cube à 0 fr. 004 au taux de 4 pour 100,

et à 0 fr. 006 au taux de 6 pour 100.

La dépense totale et par mètre cube déversé est donc de 0,005 au taux de 4 pour 100 et 0,007 au taux de 6 pour 100.

L'eau refoulée pour l'alimentation de la ville de Nancy revient à peu près au même prix.

C'est le chiffre le plus bas que nous ayons à citer au cours de la présente étude.

Il s'explique aisément par la continuité du fonctionnement des usines de Messein, alors que la plupart des autres usines alimentaires ne marchent que pendant une fraction de l'année.

ALIMENTATION DU CANAL DE LA MARNE AU RHIN

Les travaux exécutés pour l'alimentation du canal de la Marne au Rhin ont été décrits dans l'ouvrage si complet publié, en 1880, par M. l'inspecteur général Picard. Il ne peut entrer dans le cadre de ce rapport que d'en rappeler sommairement les principales dispositions et de faire connaître la mesure dans laquelle une expérience de plus de dix années a justifié les prévisions des auteurs de ces travaux délicats.

Le canal de la Marne au Rhin présente deux biefs de partage, celui de Mauvages, entre la Marne et la Meuse, et celui des Vosges, entre les vallées du Sanon et de la Zorn (*Voir* planche III).

Le premier était alimenté exclusivement par les sources de Vacon, le second par la Sarre et par l'étang de Gondrexange dont la capacité utile était de 6 millions de mètres cubes.

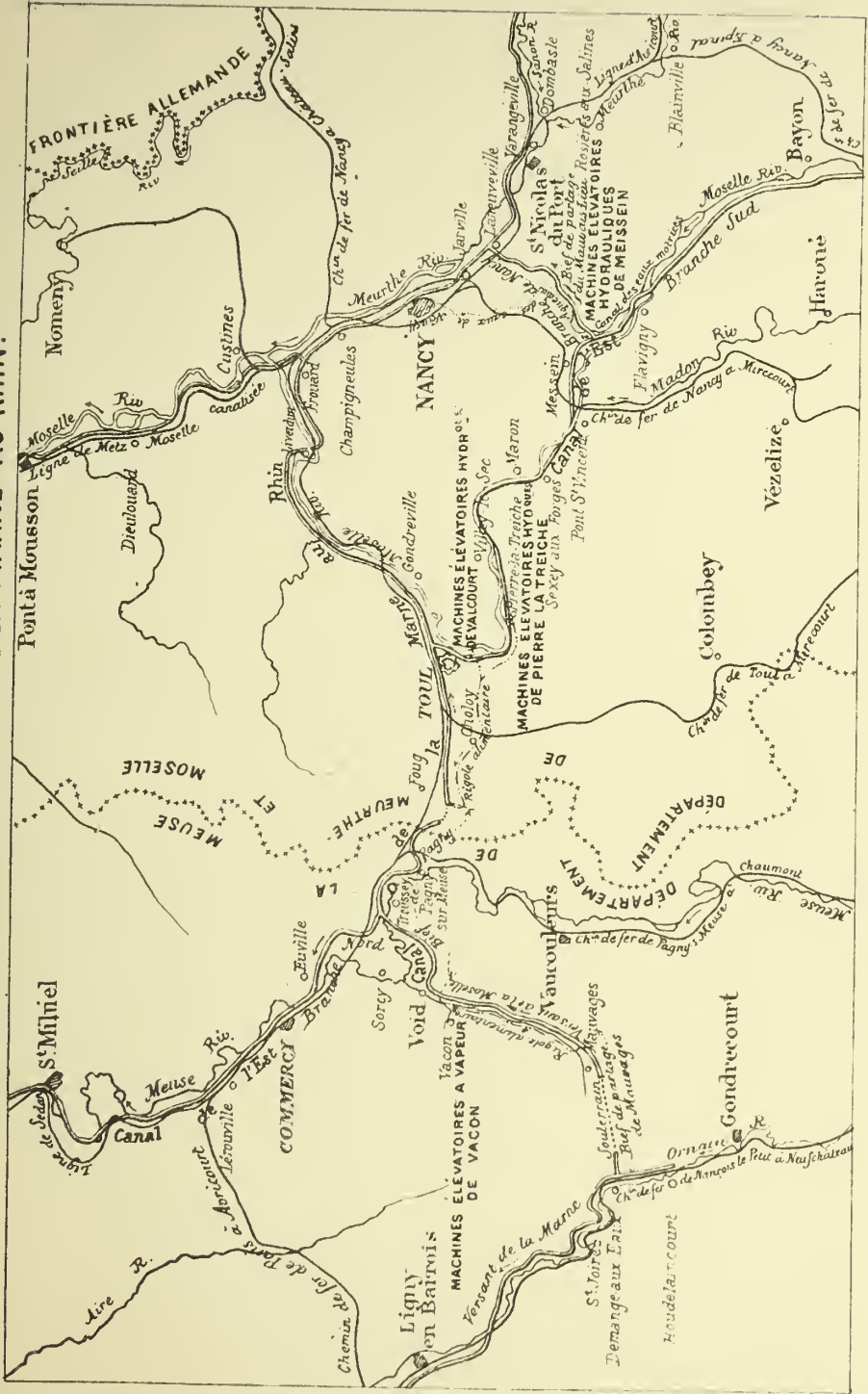
Ces ressources étaient insuffisantes pour permettre le relèvement du plan d'eau à 2 mètres.

Il en était de même des prises d'eau directes servant à l'alimentation des parties supérieures des versants.

La construction de la branche nord du canal de l'Est qui se détache du canal de la Marne au Rhin dans le grand bief de Pagny venait en même temps transformer ce bief en un véritable bief de partage.

En tenant compte de ces nouveaux besoins et de ceux déjà constatés, la consommation journalière et la consommation annuelle s'établissaient ainsi qu'il suit :

ALIMENTATION DU CANAL DE LA MARNE AU RHIN.



NATURE DES BESOINS.	PAR 24 HEURES.		PAR ANNÉE.	
	MONTANT des besoins.	TOTAL par section.	MONTANT des besoins.	TOTAL par section.
	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.
<i>Bief de partage de Mauvages et ses annexes entre St-Joire et Void.</i>				
Éclusées. — Pour 25 bateaux traversant le bief de partage à raison de 700 m. c. par éclusée à chaque extrémité . . .	55 000	65 000	12 775 000	25 725 000
Filtrations. — 1° 0 m. c. 600 par mètre courant et par 24 heures pour le mouillage de 1 m. 60 et pour une lon- gueur de 25 kilomètres.	15 000		5 475 000	
2° Augmentation des filtrations par suite du relèvement de la retenue à 2 mètres.	15 000		5 475 000	
<i>Bief de Pagny entre Void et Toul.</i>				
1° Éclusées locales et filtrations pour la retenue de 1 m. 60, 1 m. 050 par mètre courant et par 24 heures pour 29 kilo- mètres.	50 000	55 000	10 950 000	20 075 000
2° Exhaussement du plan d'eau 0,550 par mètre courant pour 29 kilomètres. .	10 000		5 650 000	
3° Éclusées de la branche nord du Canal de l'Est pour 9 bateaux traversant le bief de Pagny à raison de 700 mètres cubes par éclusée à Troussey et à Fong.	12 500		4 562 500	
4° Filtrations sur 1500 mètres, à raison de 1700 par mètre courant et par 24 heures.	2 500		912 500	
<i>Versant de la Meurthe entre Dombasle et la frontière.</i>				
1° Éclusées locales et filtrations sur 28 kilomètres de longueur, à raison de 1 m. 500 par mètre courant pour le mouillage de 1,60	42 000	47 800	15 550 000	17 450 000
2° Augmentation du mouillage et ali- mentation indépendante entre Einville et Dombasle, à raison 210 litres par mètre courant.	5 800		2 100 000	

Évaluation des ressources.

Entre Saint-Joire et Void, les prises d'eau directes dans l'Ornain et dans la Méolle peuvent fournir pendant 250 jours les 65 000 mètres cubes nécessaires à l'alimentation, mais, pendant 115 jours, en moyenne, leur débit est réduit à 25 000 mètres cubes. On ne doit donc compter de ce chef que sur une ressource de 19 125 000 mètres cubes par an.

La différence, soit 4 600 000 mètres cubes, est empruntée au bief de Pagny au moyen de machines élévatoires à vapeur, capables d'élever, à 40 mètres de hauteur, un cube journalier de 40 000 mètres cubes.

Cette combinaison a pour résultat de porter les besoins du bief de Pagny à $55\,000 + 40\,000 = 95\,000$ mètres cubes par jour et à $20\,075\,000 + 4\,600\,000 = 24\,675\,000$ mètres cubes par année.

Ce bief est alimenté :

1° Par les puissantes sources de Vacon qui peuvent fournir par jour 95 000 mètres cubes, mais dont le débit disponible peut s'abaisser à 25 000 mètres cubes, de sorte que leur débit annuel utilisable est seulement de 16 275 000 mètres cubes. La différence entre ce chiffre et celui des besoins annuels (24 675 000), soit 8 400 000 mètres cubes, est empruntée à la Moselle, près de Toul, au moyen de trois groupes de machines hydrauliques élévatoires, capables d'élever 65 000 mètres cubes par jour à une hauteur d'un peu plus de 40 mètres. L'exécution de l'un de ces groupes a d'ailleurs été ajournée, ce qui réduit la puissance de production à 40 000 mètres cubes par jour au lieu de 65 000 mètres cubes.

Enfin, entre Dombasle et Einville le supplément de ressources a été obtenu par la construction du réservoir de Paroy de 1 710 000 mètres cubes de capacité, établi à proximité de la frontière franco-allemande.

L'administration allemande, de son côté, a d'abord racheté les chutes des usines de la Sarre et s'est ainsi rendue maîtresse de la totalité des eaux de cette rivière. Puis elle a exhausé les digues du réservoir de Gondrexange, porté sa superficie de 507 à 625 hectares et sa capacité de 6 500 000 mètres cubes à 15 500 000 mètres cubes. Enfin les stipulations du traité de Francfort relatives à l'alimentation du canal de la Marne au Rhin, ont été revisées par une nouvelle convention diplomatique en date du 8 novembre 1885. Cet arrangement a permis de relever à 2 mètres le mouillage de presque toute la partie du canal comprise entre Dombasle et la nouvelle frontière ; mais il a eu même temps posé le principe de la participation ultérieure et éventuelle du gouvernement français aux dépenses faites ou à faire par le gouvernement allemand, pour la création de nouvelles ressources alimentaires sur son territoire, le jour où ce dernier gouvernement jugerait utile d'élever le mouillage à 2 mètres, d'une manière générale, sur les deux versants des Vosges.

L'exécution des travaux dont nous venons de donner la nomenclature a

permis, depuis leur achèvement, de maintenir régulièrement le mouillage à 2 mètres dans toute l'étendue du canal de la Marne au Rhin. La consommation prévue pour les éclusées ne paraît pas avoir été dépassée comme chiffre moyen annuel, mais les besoins journaliers sont parfois notablement supérieurs aux prévisions. Quant aux pertes par infiltrations, elles ont été augmentées du fait des travaux de dévasement et d'élargissement qui ont été exécutés pour assurer le croisement des bateaux de 58 m. 50 de longueur, mais l'exécution de nouveaux bétonnages en a ramené sensiblement le chiffre aux prévisions primitives. Toutefois, il paraît probable, en présence de l'accroissement régulier du trafic sur le canal de la Marne au Rhin et sur la branche nord du canal de l'Est, qu'il ne reste plus un excédent suffisant de ressources pour subvenir aux besoins d'une année exceptionnellement sèche. Déjà, en 1884, les machines élévatoires ont dû fournir les 8 millions et demi de mètres cubes dont le besoin était prévu : l'établissement du troisième groupe de machines ou l'exécution de nouveaux bétonnages dans le bief de Pagny s'imposera donc dans un avenir plus ou moins éloigné.

On voit, d'après l'exposé précédent, que la partie du canal de la Marne au Rhin située à l'ouest de Nancy s'alimente seulement au moyen de sources ou de cours d'eau pérennes secondés en basses eaux par des machines élévatoires. Toutes les études faites depuis trente ans en vue de constituer des réservoirs à proximité des deux biefs de partage de Mauvages et de Pagny ont conduit à des résultats négatifs. Il en résulte que, si l'on a réussi à assurer d'une manière satisfaisante l'alimentation courante du canal une fois qu'il est en eau, son remplissage après un chômage d'été présente encore de sérieuses difficultés. L'époque du printemps est donc impérieusement commandée pour la vidange des biefs.

On a essayé pendant nombre d'années les chômages d'hiver, mais il est rare que ces chômages prévus à date fixe, de longtemps d'avance, coïncident exactement avec ceux qui résultent naturellement de la formation de la glace : de là une interruption prolongée entre mesure pour la navigation. Le travail d'hiver est d'ailleurs bien peu productif. Enfin tous les ouvrages et surtout les bétonnages souffrent beaucoup plus des gelées quand la cuvette est vide que quand elle est pleine. On a donc dû renoncer aux chômages d'hiver.

Les chômages d'été cessent au moment où les sources et les cours d'eau sont au plus bas étiage et le remplissage devient impossible. Aussi, tant que l'on n'aura pas réussi à constituer à proximité des biefs de Mauvages et de Pagny une petite réserve d'eau, ne fût-elle que de 500 000 ou 1 000 000 mètres cubes, il serait très imprudent de prévoir un chômage finissant à une date postérieure au 10 juillet environ.

Dépenses et prix de revient divers.

Les dépenses de premier établissement des usines alimentaires ont été les suivantes, y compris les rigoles alimentaires :

Usines hydrauliques de Pierre-la-Treiche et de Valcourt.	1 634 000 fr.
--	---------------

Usine à vapeur de Vacon.	1 250 000 fr.
----------------------------------	---------------

Les dépenses d'exploitation font ressortir le prix de revient de 1 000 mètres cubes d'eau montés à un mètre, pour les usines de Pierre-la-Treiche et de Valcourt, à	0 fr. 086
---	-----------

L'intérêt de l'amortissement à 6 pour 100 des dépenses de premier établissement, représentent, par 1 000 mètres cubes d'eau montée à 1 mètre, pour Pierre-la Treiche et Valcourt.	0 fr. 516
---	-----------

Pour Vacon.	1 fr. 245
---------------------	-----------

Le prix total revient donc à 0 fr. 602 pour les usines hydrauliques et 1 fr. 645 pour l'usine à vapeur.

Le prix du mètre cube déversé dans le canal s'élève respectivement. pour Pierre-la-Treiche et Valcourt, à.	0 fr. 028
--	-----------

Et pour Vacon à.	0 fr. 064
--------------------------	-----------

en comptant l'intérêt à 6 pour 100 des dépenses de premier établissement, les frais annuels d'entretien et d'exploitation, et en déduisant du volume fourni par les machines le cube absorbé par les pertes des rigoles.

Si l'intérêt et l'amortissement sont comptés à 4 pour 100 seulement au lieu de 6 pour 100, ces chiffres deviennent 0,020 et 0,048.

Note. — En vue de faciliter au lecteur la comparaison des usines du canal de la Marne au Rhin avec celles qui seront décrites ultérieurement, nous rappelons ci-dessous les principales données de ces usines.

Usines de Toul.

DONNÉES PRINCIPALES.	USINE de VALCOURT.	USINE de PIERRE-LA- TREICHE.
	mèt.	mèt.
Hauteur de la chute motrice	4 00	2 50
Volume moteur minimum	3 25	6 50
Volume moteur maximum	6 00	8 12
Force brute minima	175 chevaux.	217 chevaux.
	590 chevaux.	
Force brute maxima	520 chevaux.	280 chevaux.
	600 chevaux.	
	mèt.	mèt.
Hauteur de refoulement	40 65	40 20
Conduite de refoulement. { Longueur	615 »	515 »
{ Diamètre	0 80	0 65
DÉPENSES :	fr.	
Partie mécanique	275 000	
Conduites ascensionnelles et siphons.	248 000	
Bâtiments et rigoles.	1 111 000	
Total.	1 654 000	

Usines de Vacon.

DONNÉES PRINCIPALES.	QUANTITÉS.
Nombre des pompes (à simple effet)	4
Diamètre des pistons à eau.	0 ^m ,46
Nombre des cylindres à vapeur.	2
Diamètre.	0 ^m ,85
Longueur de course commune à tous les pistons.	1 ^m ,70
Pression sur le piston.	6 kilog.
Introduction variable de 1/4 de la course à.	1/30
Nombre de générateurs (chacun est muni de 2 bouilleurs et de 2 tubes réchauffeurs).	5
Surface de chauffe totale (90 mètres carrés par générateur).	450 m. c.
Surface de grille (1 ^m 2,625 par générateur).	8 m. c.
Nombre de tours par minute variable de.	18 à 50
Vitesse des pistons à 30 tours { maximum.	2,67
{ minimum.	1,70
Force nominale des machines.	300 chevaux.
Hauteur d'ascension.	57 m.
Volume refoulé par 24 heures.	40 000 m. c.
Conduite de refoulement. { Longueur	156 m.
{ Diamètre.	1 m.
DÉPENSES :	
Partie mécanique.	355 000 fr.
Conduites ascensionnelles et siphons	148 000
Bâtiments et accessoires.	214 000
Rigole alimentaire.	555 000
TOTAL.	1 250 000 fr.

ALIMENTATION DU CANAL DE L'AISE A LA MARNE

Le canal de l'Aisne à la Marne a son origine sur le canal latéral à l'Aisne, à Berry-au-Bac ; il passe à Reims, remonte la vallée de la Vesle, traverse, avec un souterrain de 2500 mètres de longueur, le faite séparatif de la Vesle et de la Marne, et aboutit à Condé dans le canal latéral à la Marne (*Voir* planche IV).

Il a une longueur de 58 kilomètres ainsi répartie :

Versant de l'Aisne.	kil. 59 1/2
Bief de partage.	12 »
Versant de la Marne.	6 1/2
Total pareil.	<u>58 »</u>

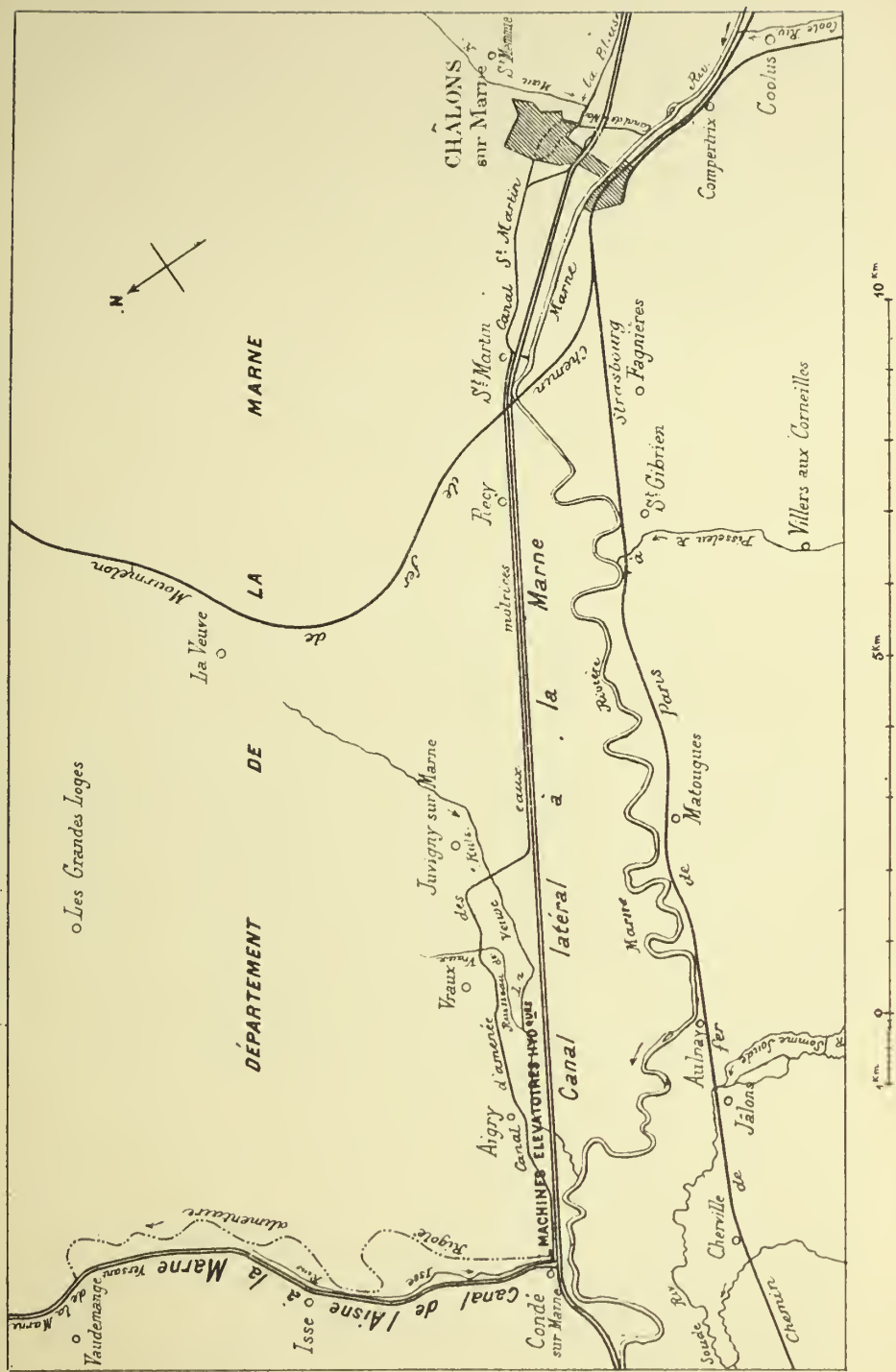
Avant 1869, ce canal était alimenté exclusivement par des prises d'eau directes effectuées dans la Vesle, mais le débit de cette rivière était absolument insuffisant, même pour un mouillage de 1 m. 60 et la navigation chômait pendant une durée variable de trois à six mois par année, malgré des travaux d'étanchement considérables effectués de 1857 à 1861.

En 1865, les besoins de l'alimentation étaient évalués comme il suit pour un mouillage de 1 m. 60.

NATURE DES BESOINS.	PAR 24 HEURES.		PAR ANNÉE.	
	MONTANT des besoins.	TOTAL par section.	MONTANT des besoins.	TOTAL par section.
	m ³ .	m ³ .	m ³ .	m ³ .
1° Entre Berry-au-Bac et Fléchambault (24 kil. 570), 0,400 par mètre courant et par 24 heures pour évaporation et infiltration.	10 400	10 400	5 796 000	5 796 000
2° Entre Fléchambault et Sillery (8 948 mètres). Évaporation $0,452 \times 1\,400$ mètres ¹ . Filtrations $0,067 \times 8\,948$ — .	605	605	221 000	221 000
3° Entre Sillery et Condé (24 kil. 717). Évaporation, filtrations et pertes par les manœuvres $(0,840 \times 24.717)$.	20 700	58 000	7 555 000	15 870 000
Éclusées du bief de partage à raison de 15 bateaux par jour et 1 150 mètres cubes par passage.	17 500		6 515 000	
Totaux.		49 000		17 887 000

La différence entre la longueur de la section et celle où se font des filtrations (8948-1400) est formée par un bras de la Vesle qui sert à la fois à l'alimentation des usines hydrauliques de Reims et au passage des bateaux. Il est alimenté par la Vesle.

ALIMENTATION DU CANAL DE L' AISNE À LA MARNE .



Le débit de la Vesle pouvant descendre presque chaque année à 2 000 mètres cubes par 24 heures, n'était d'aucune ressource pour une alimentation sérieuse du canal. Il en était de même de la rivière voisine, de la Suippe. La Marne seule pouvait offrir un volume d'eau suffisant. Une prise d'eau directe eût exigé une dérivation de plus de 100 kilomètres à travers des formations géologiques extrêmement perméables; on se décida pour une solution rarement admise jusqu'alors pour les canaux : l'élevation des eaux alimentaires au moyen de machines hydrauliques.

Ces machines ont été établies de manière à pouvoir fournir environ 104 000 mètres cubes par 24 heures avec la plus grande chute, soit 6 m. 92 correspondant à l'étiage de la Marne, et 60 000 mètres cubes quand la chute est réduite à 5 m. 12 (crues de la Marne).

Rigole des eaux motrices.

Les eaux alimentaires sont dérivées de la Marne, à Châlons, au moyen d'une rigole de 18 568 mètres de longueur dont le débit peut atteindre 15 mètres cubes par seconde.

Pour la partie d'amont, on a utilisé d'anciens bras de la Marne dont une partie a été mise en communication avec le canal latéral, et constitué ainsi, à proximité de Châlons, un chenal navigable pouvant servir à un trafic important. La rigole creusée spécialement pour les eaux motrices a 14 kilomètres de longueur, 8 mètres de largeur au plafond, des talus à 5 de base pour 2 de hauteur, un mouillage maximum de 2 m. 20 et une pente de 15 centimètres par kilomètre. Les digues ont 5 mètres de largeur et une revanche de 40 à 70 centimètres au-dessus de la retenue maxima. Cette rigole a exigé d'assez nombreux ouvrages d'art, des travaux d'étanchement, motivés par la nature perméable du terrain, et des ouvrages de revêtement propres à résister à une vitesse moyenne de 55 centimètres par seconde. Après une rupture de digues près du village de Vraux, le mouillage maximum pratique a été fixé à 2 mètres. On a depuis lors renforcé les digues au droit des centres d'habitation et des fuites les plus importantes.

Si l'augmentation du trafic doit accroître les besoins alimentaires du canal de l'Aisne à la Marne, les ingénieurs estiment qu'il conviendra avant tout d'agrandir la capacité de débit de la rigole des eaux motrices. Le débit théorique pour 2 mètres de mouillage est de 11 m³. 440 par seconde. Ce débit réalisé à l'origine des travaux n'est plus que de 9 m³. 500 quand le canal vient d'être faucardé. De fréquents faucardements, curages et dragages sont nécessaires pour enlever les apports limoneux de la Marne : on sera peut-être amené à envisager la transformation de la cuvette de manière qu'elle offre moins de résistance à l'écoulement.

Machines de Condé.

Le système mécanique est formé de 5 turbines Kœchlin de 2 mètres

de diamètre pouvant débiter chacune 2 m^3 . $1/2$ par seconde sous la chute normale de 6 m. 70, inférieure de 22 centimètres à la chute maxima.

Chaque turbine, par l'intermédiaire d'un pignon et d'une roue d'angle, transmet le mouvement à un arbre horizontal parallèle à la ligne des turbines et à 3 m. 50 au-dessus de la retenue d'amont.

A droite et à gauche de chacune des trois turbines centrales sont disposées des pompes verticales à double effet. Les deux turbines extrêmes ne sont pas attelées directement à des pompes; elles viennent exceptionnellement (six ou sept jours par an) au secours des autres moteurs quand la chute motrice est réduite, par les crues de la Marne, à 3 m. 50 ou 4 mètres.

Dans les périodes d'étiage, quand les besoins de l'alimentation ne sont pas considérables, on attache, sur la couronne fixe et sur la couronne mobile des trois turbines centrales, des obturateurs en fonte qui réduisent d'un tiers la section d'écoulement des aubes.

Cette variation de 3 m. 80 dans le niveau du bief d'aval constitue une condition peu favorable à l'établissement des turbines et paraît avoir été l'une des causes du choix d'un ensemble de dispositions assez onéreuses qui n'ont guère été imitées depuis. On s'est attaché particulièrement à réaliser un système simple, d'un entretien facile, dont toutes les parties soient bien en vue et d'un accès très commode. L'arbre moteur a une vitesse limitée de huit ou dix tours par minute (mais on ne dépasse pas, en pratique, huit tours et demi, afin d'éviter des trépidations qui ébranlent les fondations). Les turbines tournent dix fois plus vite et la transmission s'opère en une seule fois à l'aide d'un pignon de 0 m. 65 de diamètre.

Les clapets, à l'origine, n'étaient pas automatiques; leur axe de rotation sortait des chapelles et portait une petite manivelle dont le bouton recevait l'action d'une tige à ressort liée par des transmissions spéciales à un excentrique calé sur l'arbre de couche. Le clapet était forcé de redescendre vers son siège à mesure que, le piston se ralentissant, le débit devenait moindre, et il se fermait au moment même où la marche du piston allait changer de sens.

Ce dispositif compliqué a été abandonné en 1880. On a équilibré les clapets au moyen de contrepoids de 20 à 25 kilogrammes qui leur permettent de suivre le mouvement de l'eau et de s'abattre sans choc sur leurs sièges, au moment du changement de marche. Vingt ouvertures parallèles de 0 m. 22 sur 0 m. 015 sont pratiquées dans le clapet et recouvertes par des lames en caoutchouc; elles donnent passage aux eaux restées derrière le clapet et en facilitent la descente.

La conduite ascensionnelle est formée de deux cours de tuyaux en fonte de 0 m. 80 de diamètre et de 600 mètres de longueur. La rigole des eaux alimentaires est entièrement maçonnée, elle a 7 600 mètres de longueur; elle est formée d'un radier en béton de 0 m. 15 d'épaisseur, sur lequel on a élevé, avec un fruit de 0 m. 08, des murettes en maçonnerie de moel-

lons. La largeur, au plafond, est de 2 m. 20, le mouillage maximum de 1 m. 10 et la pente de 0 m. 15 par kilomètre. L'épaisseur des murettes est de 0 m. 55 seulement dans les parties en déblai ; elle est augmentée dans les parties en remblai proportionnellement aux efforts qui tendent à renverser les maçonneries. Ces dimensions, insuffisantes pour mettre à l'abri de la gelée la craie sur laquelle s'appuient les maçonneries, ont donné lieu à quelques accidents, et l'on a dû, pour remédier à la poussée de la craie, venir, après coup, interposer un matelas de gravier entre la murette et le terrain naturel.

Cette précaution n'ayant pas suffisamment protégé la rigole contre la gelée, on l'a recouverte, en 1880, de voûtelettes en briques à plat sur deux épaisseurs, de 1 m. 55 de portée, reposant sur des fers Γ normaux à l'axe de la rigole. Ces fers sont posés, à leurs extrémités sur de petites piles en béton de 0 m. 50 de hauteur : le dessous des poutres est à 1 m. 55 au-dessus du radier. Les voûtes ont été recouvertes, sur une épaisseur de 0 m. 60 à 1 mètre, de remblais qui se raccordent avec les digues servant de contreforts aux murettes. Cette réparation, faite dans d'assez mauvaises conditions, sans interrompre l'alimentation, n'a été considérée que comme un palliatif, mais elle a donné jusqu'à présent d'assez bons résultats.

Deux ans plus tard, le plafond en béton de 0 m. 15, désagréé et fendillé, fut recouvert d'une chape en ciment de Portland de 0 m. 05 pendant un chômage. Des regards tous les 100 mètres permettent de pénétrer dans la rigole.

Pour un mouillage de 1 m. 10, la rigole alimentaire a une capacité de débit théorique de 107 000 mètres cubes par 24 heures (ou 1 257 litres par seconde) identique au débit maximum des pompes. L'expérience directe a donné 97 000 mètres cubes de débit pour un mouillage de 1 m. 05.

Dépenses et prix de revient divers.

La dépense totale s'est élevée à 2 854 000 francs, ainsi répartis :

Frais généraux et personnel.	26 000
Indemnités et acquisitions de terrains.	568 000
<i>Canal d'amènée des eaux motrices.</i>	
1 ^{re} partie. Entre Châlons et Saint-Martin.	88 000
2 ^e — Entre Saint-Martin et Condé.	689 000
Bâtiments des machines, canal de fuite et accessoires. . .	419 000
Conduite ascensionnelle.	150 000
<i>Rigole alimentaire.</i>	
1 ^o Dépense primitive.	354 000
2 ^o Couverture de la rigole en 1881.	274 000
3 ^o Restauration du plafond en 1882.	42 000
Machines élévatoires.	484 000
Total.	<u>2 854 000</u>

Le canal d'aménée des eaux motrices a coûté 49 francs le mètre courant, non compris les terrains. Le cube des terrassements était de 27 mètres cubes, et leur prix de 1 franc le mètre; les étanchements au sable ont coûté 1 fr. 55 le mètre courant et ceux à la craie broyée 27 francs le mètre.

La rigole alimentaire a coûté primitivement 54 francs le mètre courant, dont 10 francs environ pour les terrains, 9 francs pour les terrassements et 55 francs pour les revêtements et ouvrages d'art.

Les machines reviennent, avec les bâtiments, à un total de 905 000 francs; la force brute mise en jeu est de $\frac{7500^1 \times 6,70}{75} = 670$ chevaux: la dépense a donc été de 1 550 francs environ par cheval brut et $\frac{1550}{0,50} = 2700$ francs, par cheval utile en eau montée.

D'après les relevés très précis tenus depuis 1885, les dépenses d'exploitation peuvent être évaluées en nombre rond à 17 000 francs, dont 9 500 pour le personnel et 7 500 pour le graissage, les garnitures, le chauffage, l'éclairage et l'entretien des machines, canaux, bâtiments, etc.

Cette dépense, pour un débit annuel de 18 000 000 de mètres cubes, représente exactement 0 fr. 0010 par mètre cube déversé dans le canal et $\frac{1}{20} = 0$ fr. 050 par 1000 mètres cubes montés à 1 mètre.

L'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement au taux de 6 pour 100, représentent 171 000 francs soit $\frac{171\,000}{18\,000\,000} = 0$ fr. 0095 par mètre cube déversé et $\frac{9,50}{20} = 0,47$ par 1000 mètres cubes montés à 1 mètre.

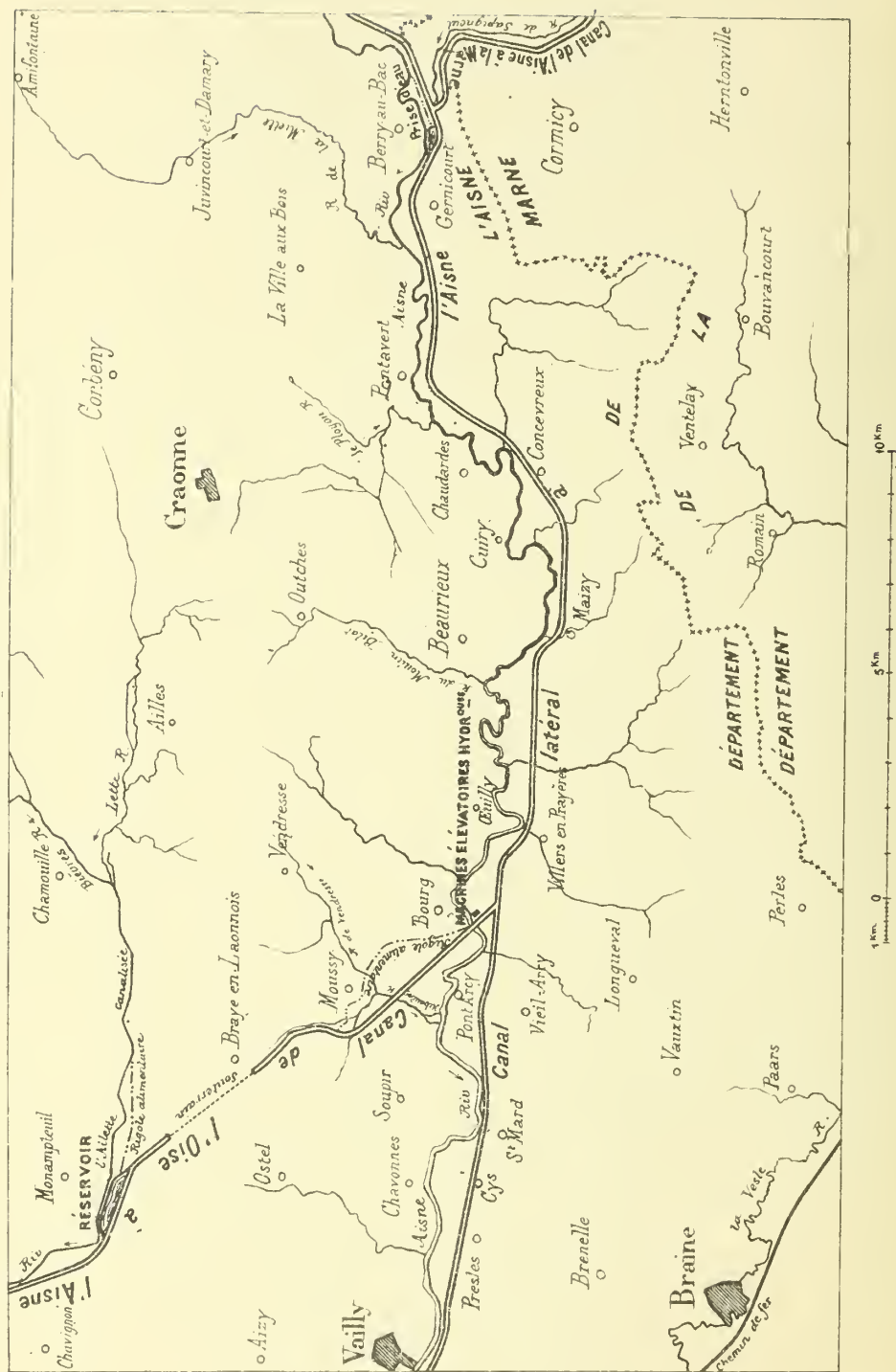
Si, au lieu de 6 pour 100 d'intérêt et d'amortissement, on compte seulement 4 pour 100, ces chiffres deviennent respectivement 114 000 francs, pour l'intérêt des frais de premier établissement, 0 fr. 0065 par mètre cube déversé, 0 fr. 515 par 1000 mètres cubes élevés à 1 mètre et pour le prix de revient total, y compris les frais d'exploitation, 0 fr. 0075 par mètre cube déversé, 0 fr. 565 par 1000 mètres cubes élevés à 1 mètre.

Le chiffre de 18 000 000 de mètres cubes n'est d'ailleurs atteint que depuis 1891. En 1888-1889-1890 on a pompé respectivement 12 600 000, 15 700 000, 16 400 000 mètres cubes. Le prix de revient a été naturellement plus élevé dans la proportion inverse du cube total produit.

La consommation par 24 heures peut être évaluée aujourd'hui comme il suit :

1° Pertes par évaporation $1850 \times 0,004 \times 56\,000$	4 200 ^{m5}
2° Pertes par filtrations dans les deux versants.	55 000
3° Pertes par filtrations dans le bief de partage.	22 000
4° 25 éclusées à 1 200 ^{m5}	50 000
Total par jour.	<u>90 000</u>

soit, pour 500 jours de navigation, 27 000 000 de mètres cubes.



Ce volume d'eau est considérable, mais il convient d'observer que le cube annuel n'a pas encore, en fait, dépassé 20 millions de mètres cubes, ce qui s'explique aisément puisque les conditions défavorables du maximum journalier sont loin d'être réalisées tous les jours de l'année. D'autre part, on tient le bief de partage à un mouillage de 2 m. 45, on conserve donc en réserve une tranche de 0,45 ou 100 000 mètres cubes d'eau qui permettent de régulariser l'alimentation et de la proportionner aux hauteurs de la Marne et de la chute motrice.

Aussi, grâce aux dispositions largement prévoyantes adoptées dès le début, on n'entrevoit pas encore la nécessité d'installer des machines auxiliaires aux turbines de Condé. Ce qui s'impose d'abord, c'est de veiller aux pertes d'eau, ruptures de bétonnages, etc. On ne pense pas être obligé de créer de nouvelles ressources alimentaires avant que l'ouverture du canal de la Marne à la Saône soit venue donner au tonnage du canal de l'Aisne à la Marne un nouvel et sérieux accroissement.

ALIMENTATION DU CANAL DE L'OISE A L' AISNE

Le canal de l'Oise à l'Aisne se détache du canal latéral à l'Oise près de Chauny, il passe au-dessus de l'Oise, se dirige à l'Est en remontant la vallée de l'Ailette, passe près de Coucy et d'Anizy, puis à Bray en Laonnois, où il franchit le faite au moyen d'un sonnerain de 2 750 mètres, enfin il descend dans la vallée de l'Aisne, traverse cette rivière à Bourg Comin, où il rejoint le canal latéral à l'Aisne (*Voir* planche V).

Sa longueur est de 47 kilomètres.

Au point de vue de l'alimentation cette longueur peut se diviser en trois sections :

1° Le versant Oise, qui, sur une longueur de 22 kilomètres environ, est alimenté par des prises d'eau directes dans la rivière d'Ailette;

2° Le bief de partage et ses annexes qui, sur une longueur de 22 kilomètres, est alimenté au moyen de machines élévatoires établies à Bourg;

3° Le dernier bief du versant Aisne, qui, sur 5 kilomètres environ, forme le prolongement d'un bief du canal latéral à l'Aisne, dit bief de la Cendrière; ce dernier a lui-même 20 kilomètres de longueur.

Les besoins d'alimentation ont été évalués comme il suit :

	m ³ .
1° Versant de l'Oise, à raison de 1 ^{m3} par mètre courant et par 24 heures pour les pertes par évaporation et infiltration.	22 000
Consommation supplémentaire de l'écluse d'Abécourt dont la chute est supérieure à celle des autres écluses pour 20 bateaux par jour.	5 000
Total.	<u>27 000</u>

Ce volume est fourni par les prises d'eau directes échelonnées sur la rivière d'Ailette dans une section où le débit minimum de ce cours d'eau varie de 17 000 à 55 000 par 24 heures. On voit, d'après ces chiffres, qu'en été les usines actionnées par l'Ailette seraient exposées à des chômages : jusqu'ici on n'a pas été obligé de les faire chômer en basses eaux, on a eu recours aux ressources surabondantes du bief de partage.

2° Bief de partage et ses annexes sur 22 kilomètres.

	m ³ .
a. Les pertes par filtrations et évaporation ont été évaluées, à raison de 1 ^{m3} ,8 par mètre courant et par 24 heures, pour 22 kilomètres, à	40 000
b. Pour le passage des bateaux, on avait admis un trafic de 720 000 tonnes, soit 2000 tonnes par jour, lesquelles, à raison de 200 tonnes par bateau, donnent lieu à 10 passages journaliers. Chaque passage aux deux écluses d'extrémité absorbe 1500 ^{m3} ; la consommation était donc évaluée à 15.000 ^{m3} . Mais pour tenir compte des périodes d'activité exceptionnelle, on a compté.	50 000
Total.	<u>70 000</u>

Le remplissage de cette section, après un chômage, absorbe un volume de 550 000 mètres cubes.

3° Bief de Bourg : avant la construction du canal de l'Oise à l'Aisne, le bief de la Cendrière (sur le canal latéral à l'Aisne), bief dont celui de Bourg est le prolongement, était alimenté au moyen des ressources provenant du canal des Ardennes : ces eaux qui avaient à parcourir 51 kilomètres de canal ne pouvaient plus suffire aux besoins propres d'une navigation toujours croissante, d'autre part, c'est dans ce bief que l'on devait puiser au moyen de machines élévatoires les eaux nécessaires à l'alimentation du bief de partage : on a été conduit ainsi à créer une prise d'eau spéciale dans la rivière d'Aisne et à donner à cette prise d'eau les dimensions nécessaires pour pouvoir jeter dans le bief de la Cendrière :

	m ³ .
1° L'eau nécessaire à l'alimentation propre de ce bief, soit environ.	25 000
2° L'eau nécessaire à l'alimentation du bief de partage et de ses annexes sur 22 kilomètres, soit à raison de 1 ^{m3} ,8 par 24 heures et par mètre courant.	40 000
3° Le volume à utiliser pour le passage des bateaux au bief de partage, soit à raison de 20 bateaux par jour et 1500 ^{m3} par bateau.	50 000
4° Enfin les eaux motrices destinées à actionner l'usine hydraulique élévatoire de Bourg, eaux motrices dont le volume correspondant aux chiffres de la consommation ci-dessus serait, pour une valeur moyenne de la chute, de.	210 000
	<u>305 000</u>

soit environ 3 mc. 1/2 par seconde.

Mais ce chiffre correspond à la chute moyenne de l'usine de Bourg ; au moment des crues de l'Aisne, cette chute diminue : on doit donc, pour réaliser le même débit en eau montée, augmenter le volume des eaux motrices. On a été ainsi conduit à établir les ouvrages de prise d'eau en vue d'un volume normal de 6 mètres cubes par seconde et même, exceptionnellement, de 10 mètres cubes.

Les travaux qui ont permis de satisfaire aux besoins que nous venons d'indiquer ont coûté 4 200 000 francs. Ce sont les derniers de cette nature qui aient été exécutés en France. Le canal de l'Oise à l'Aisne, inauguré le 1^{er} juin 1890, a donné lieu dès les premiers temps de son ouverture à un trafic de 1 100 000 tonnes, supérieur de plus de 50 pour 100 aux prévisions, et ce trafic ne peut manquer de s'accroître encore rapidement, car il procure au commerce qui l'utilise une économie d'environ 1 franc par tonne.

Ouvrages de prise d'eau.

Le barrage de retenue est établi sur l'Aisne près de Berry-au-Bac : il est constitué, comme la plupart des barrages de l'Aisne canalisée, par un déversoir muni de fermettes et d'aiguilles du système Poirée et par un pertuis profond fermé de la même manière, mais dont les aiguilles, de près de 6 mètres de hauteur, sont manœuvrées mécaniquement au moyen d'un eric.

La rigole de prise d'eau, munie en tête d'un vannage de garde, et latéralement d'une digue de garantie insubmersible, a une longueur d'un kilomètre. Elle présente 7 mètres de largeur au plafond, des talus de 5 de base pour 2 de hauteur, un mouillage normal de 2 m. 20. Elle peut débiter 10 mètres cubes avec une vitesse de 50 centimètres et 6 mètres cubes avec une vitesse de 27 centimètres. Les eaux motrices sont amenées à l'usine de Bourg par le bief du canal latéral à l'Aisne dit « de la Cendrière », qui a 20 kilomètres de longueur.

Frappés des inconvénients que présentent les courants qui existent sur certains canaux du midi de la France, les ingénieurs ont procédé à une étude comparative d'une rigole spéciale amenant directement les eaux motrices à l'usine de Bourg : cette rigole, en raison des conditions difficiles où l'on se trouvait entre le canal latéral et la rivière, fut évaluée à 5 500 000 francs. En dépensant seulement la moitié de cette somme on a pu augmenter la largeur et le mouillage du bief lui-même de manière à rendre insensibles les inconvénients signalés. La largeur a été portée à 12 m. 80 au plafond au lieu de 10 mètres et le mouillage à 2 m. 60 au lieu de 2 m. 20. La section mouillée est ainsi de 45 mètres carrés au lieu de 29, pour un débit de 6 mètres cubes, la vitesse moyenne s'abaisse de 21 à 14 centimètres et enfin, au moment du croisement de deux bateaux, la section libre est de 25 mètres carrés au lieu de 11 ; la vitesse

dans cette section libre s'abaisse donc de 55 centimètres par seconde à 24.

Le débit de 6 mètres cubes est d'ailleurs exceptionnel et dans la pratique journalière les bateaux n'ont à lutter que contre une vitesse de 7 centimètres en plein bief et de 12 centimètres au moment des croisements.

L'élargissement du canal a été une opération difficile; on a dû reconquer les talus, exhausser les digues, refaire les ponts par-dessus, allonger les ouvrages en dessous et enfin bétonner la cuvette sur plus de 10 kilomètres. Ces travaux ont exigé pendant plusieurs années de longs chômages d'été et ils ont coûté environ 1 658 000 francs, soit 82 000 francs par kilomètre.

Machines élévatoires.

La chute motrice ainsi créée à Bourg, entre le canal latéral et la rivière d'Aisne, varie de 9 m. 80 à 4 m. 60. La puissance motrice est recueillie sur trois moteurs capables de débiter chacun un volume de 1 750 litres par seconde sous la chute moyenne de 8 mètres. La hauteur utile du refoulement des pompes est de 16 mètres environ, et le débit moyen de chaque groupe est de 466 litres; la force motrice brute de l'usine est de 625 chevaux pour les trois groupes; et la force utile maxima en eau montée d'environ 550 chevaux.

Les variations de la hauteur de chute se reproduisent presque exclusivement par l'aval en raison des crues de l'Aisne. On se trouve donc dans des conditions tout à fait analogues à celles de l'usine de Condé-sur-Marne et les deux solutions adoptées présentent dans leur ensemble une grande analogie. On trouve de part et d'autre trois turbines Jonval Kœchlin dont la couronne mobile est placée dans un tuyau de décharge à peu près au milieu de la hauteur de la chute motrice.

Toutefois l'usine de Bourg porte la marque de nombreux perfectionnements que la construction mécanique a subis depuis 25 ans.

En premier lieu, les turbines, bien que fonctionnant par aspiration, sont à libre déviation : un artifice ingénieux permet de dénoyer artificiellement les couronnes mobiles. Aussi a-t-on pu conserver, pour les orifices de distribution, le système des obturateurs partiels au lieu de recourir à la vanne annulaire de fond du système Jonval. Cette vanne de fond est un moyen vicieux de diminuer le débit de la turbine : on n'y parvient, en effet, qu'à la condition d'étrangler le passage de l'eau à sa sortie, de réduire ainsi la chute disponible, et cela au moment où l'on dispose généralement d'un volume moteur minimum.

L'artifice employé pour dénoyer la turbine consiste à envoyer et à maintenir au niveau du dessous de la couronne mobile une mince couche d'air qui, sous l'effet d'aspiration produit par le tuyau de chute, se déprime et se maintient à une pression égale à la pression atmosphérique diminuée de la hauteur de l'eau dans le tuyau de chute. Cet air doit être renouvelé,

car il est continuellement entraîné par l'eau qui tombe de la turbine; il ne faut cependant pas en envoyer trop, car alors le niveau de l'eau baisserait dans le tuyau de décharge, la pression de l'air déprimé augmenterait et ce serait comme si l'on perdait une partie de la chute. Le réglage de la valve d'introduction de l'air est effectué par un flotteur disposé de façon à suivre le mouvement du plan d'eau dans le tuyau de décharge. Si ce plan d'eau s'élève, la valve s'ouvre; s'il baisse au contraire, la valve se ferme.

On peut d'ailleurs supprimer le fonctionnement de ce flotteur hydro-pneumatique sans autre inconvénient qu'une certaine diminution du rendement.

Les turbines à libre déviation pouvant débiter des volumes d'eau très variables sans diminution considérable du rendement, l'adjonction des deux turbines extrêmes de Condé est devenue inutile.

Pour le même motif, on aurait pu supprimer la connexion des arbres moteurs des trois groupes entre eux : on l'a conservée par excès de prudence; mais on paraît s'en repentir, car elle entraîne des complications et on n'a jamais eu à y recourir depuis dix-huit mois que l'usine est en marche.

L'adoption de pistons plongeurs effilés, pénétrant dans des corps de pompe à grande section, et celle des clapets Girard à double siège, a permis d'accepter une vitesse de marche double de celle de Condé : l'arbre moteur des pompes fait normalement 18 tours à la minute et celui des turbines, 70. Les circonstances ne permettaient guère d'adopter, comme aux usines de Toul, la connexion directe : aussi, malgré la perfection et la bonne proportion des engrenages, le rendement effectif est-il un peu inférieur à celui de Toul, 62 centièmes au lieu de 67.

La grande vitesse imprimée aux pistons a conduit à cette constatation en apparence paradoxale que le rendement des pompes est égal et parfois même supérieur à l'unité : le débit des pompes dépassant souvent un peu le volume engendré par les pistons.

La conduite ascensionnelle est formée de deux tuyaux en fonte de 90 centimètres de diamètre et d'une longueur de 950 mètres.

Elle aboutit à une rigole alimentaire de 5 780 mètres, dont 2 800 à ciel ouvert et 980 mètres en siphon. La rigole a une largeur de 1 m. 20 au plafond, un mouillage normal de 1 m. 60, des talus à 3 de base pour 2 de hauteur et une pente de 15 centimètres par kilomètre au plafond. Le siphon est formé d'une seule file de tuyaux en fonte de 1 m. 50 de diamètre. La partie à ciel ouvert est entièrement bétonnée.

Le bief de partage a 7 500 mètres de longueur et un mouillage normal de 2 m. 70; cette revanche de près de 70 centimètres au-dessus du minimum nécessaire au passage des bateaux assure une réserve de près de 100 000 mètres cubes qui permet, soit de parer à une circulation exceptionnellement active, soit de remédier à une interruption accidentelle dans le fonctionnement des machines ou de leurs accessoires.

Enfin, on a établi sur la rivière d'Ailette un petit réservoir qui est mis

en communication avec le bief de partage. Ce réservoir a une capacité d'un million de mètres cubes : la tranche supérieure, sur 70 centimètres environ de hauteur, peut être utilisée comme celle du bief de partage lui-même, celui-ci conservant un mouillage minimum de 2 mètres. Cette tranche est d'environ 200 000 mètres cubes. Le reste de la réserve peut être utilisé, soit pour commencer le remplissage du bief de partage, soit pour alimenter les biefs inférieurs du versant de l'Oise.

Cette disposition fait disparaître les inconvénients que présente une alimentation basée sur l'emploi exclusif de machines ou de sources.

Dépenses et prix de revient divers.

La dépense totale s'est élevée à 4 208 000 francs, y compris tous frais de personnel et autres frais généraux. Elle se répartit comme il suit :

	fr.
1° Barrage de Berry-au-Bac, rigole d'amenée entre le barrage et le canal latéral et le canal latéral et accessoires	745 000 »
2° Élargissement du bief de la Cendrière, exhaussement des digues, réfection ou allongement d'ouvrages, bétonnages sur 10 kilomètres.	1 658 060 »
3° Machines de Bourg.	350 000 »
4° Bâtiments, logement du personnel, éclairage électrique, terrains, etc.	541 000 »
5° Conduites ascensionnelles.	245 000 »
6° Rigole alimentaire (y compris 207.000 francs pour le siphon.	711 000 »
Total pareil.	<u><u>4 208 000 »</u></u>

Les engins mécaniques proprement dits ne sont revenus qu'à $\frac{550\,000}{625} = 550$ francs par cheval brut ou 1 000 francs par cheval utile en eau montée. Les bâtiments et accessoires coûtent 870 francs par cheval brut et 1 620 francs par cheval utile. L'usine proprement dite revient donc à 1 600 francs par cheval brut et 2 600 francs par cheval utile. Mais les ouvrages de prise d'eau, les canaux d'amenée et la rigole alimentaire, reviennent à 5 500 francs par cheval brut et 10 000 francs par cheval utile. La dépense totale ressort donc à près de 7 000 francs par cheval brut et 12 600 francs par cheval utile. Il y a lieu, toutefois, d'observer que sur le chiffre de 1 658 000 francs affecté à l'élargissement du bief de la Cendrière, il conviendrait de déduire une somme importante, mais difficile à déterminer, qui aurait dû, dans tous les cas, être dépensée pour donner à ce bief ses conditions normales de navigabilité, lors même qu'il n'y aurait pas eu de travaux d'alimentation.

L'expérience d'une marche de 18 mois a montré que les prévisions

étaient très largement établies; malgré l'importance de la circulation qui a été de 1 100 000 tonnes, au lieu de 720 000, on n'a utilisé effectivement que les 0,585 de la puissance réelle de l'usine. Chaque turbine n'a marché en moyenne que 6 heures par jour; la chute motrice a varié de 7,47 à 9,87 avec une moyenne de 9 mèt. 36.

La différence moyenne entre le niveau du bief moteur et celui de la rigole des eaux alimentaires a été de 16 mèt. 49, et la hauteur manométrique moyenne du refoulement a été de 17 mèt. 42 avec un minimum de 16,74 quand une seule turbine était en marche, et un maximum de 19,06 quand les 5 turbines marchent ensemble.

La vitesse moyenne de marche de l'arbre des pompes a été de 17 tours par minute, le volume moteur moyen de 1 460 litres par turbine, de 1 760 litres en moyenne pour l'ensemble de l'usine avec un maximum de 5 200 litres au moment du remplissage, les 5 turbines marchant ensemble. Le volume monté a été de 564 litres en moyenne par seconde, avec un minimum de 450 et un maximum de 1,450. Le volume moyen par seconde de marche d'une turbine seule est de 466 litres.

La force motrice brute a varié de 170 chevaux à 625 avec une moyenne de 217. La moyenne, pour une turbine, est de 179 chevaux. La force utile en eau montée a varié de 100 chevaux à 552 avec une moyenne de 124 pour l'usine et de 102 pour une turbine.

La force réelle, obtenue en ajoutant à la hauteur d'ascension la perte de charge dans les conduites, a varié de 106 à 580 chevaux avec une moyenne de 151 pour l'usine et de 108 pour une turbine.

Le rendement réel a varié de 0,56 à 0,65 avec une moyenne de 0,60.

Pendant la période de 162 jours qui a servi de base aux calculs qui précèdent, on a monté 5 021 500 mètres cubes; il est passé au bief de partage 1 993 bateaux qui ont consommé approximativement 3 millions de mètres cubes. Le reste de l'eau montée, soit 2 millions, représente par 24 heures $\frac{2\,000\,000}{160} = 12\,400$ mètres cubes, soit, pour 22 kilomètres de longueur, un chiffre de pertes s'élevant à peine à 600 litres par 24 heures et par mètre courant.

La dépense d'exploitation est évaluée à 20 000 francs par an, soit 64 francs par jour de marche effective, 3 fr. 40 par 1 000 tours de roue, 2 fr. 07 par 1 000 mètres cubes d'eau jetés dans le bief de partage, 0 fr. 125 par 1 000 mètres cubes montés à 1 mètre, 5 fr. 22 par bateau passé au bief de partage et 0 fr. 026 par tonne.

L'intérêt annuel et l'amortissement du capital de premier établissement étant de 170 000 francs, à 4 pour 100, et 250 000 francs, à 6 pour 100, on peut admettre que la dépense par mètre cube déversé dans le bief de partage est d'environ $\frac{190\,000}{11\,000\,000} = 0$ fr. 017 au taux de 4 pour 100 et

$\frac{270\,000}{11\,000\,000} = 0$ fr. 025 au taux de 6 pour 100.

La dépense totale, par mètre cube déversé dans le canal, est donc de 0 fr. 019 quand on adopte le taux de 4 pour 100 et 0,027 quand on adopte le taux de 6 pour 100.

CANAL DE LA MARNE A LA SAONE

Le canal de la Marne à la Saône commence à Romroy, près de Joinville, et remonte la vallée de la Marne par Bologne, Chaumont et Langres. Près de cette ville il franchit, au moyen d'un souterrain de 4,500 mètres environ, le faite séparatif de l'Océan et de la Méditerranée; enfin, il descend la vallée de la Vingeanne jusqu'à son confluent avec la Saône, près de Pontaillier.

La longueur totale est de 155 kilomètres, dont 79 pour le versant de la Marne, 10 pour le bief de partage et 64 pour le versant de la Saône.

Il présente encore deux lacunes, l'une sur le versant de la Marne, entre Chaumont et Frulain, sur environ 15 kilomètres, et l'autre, sur le versant de la Saône, entre Heuilley-Coton et Fontaine-Française, sur environ 40 kilomètres.

L'alimentation a fait l'objet de longues et minutieuses études qui ont abouti à la production successive de trois avant-projets en 1875, 1879 et 1890.

Trois circonstances rendent ces études particulièrement délicates.

D'une part, les besoins d'alimentation ne sont réellement déterminés d'une manière un peu précise, qu'après la construction elle-même des biefs et les premiers essais de mise en eau.

D'autre part, les prises d'eau directes faites dans la Marne ne paraissent pas avoir donné, en année moyenne, le volume d'eau sur lequel il paraissait tout d'abord permis de compter.

Enfin, pour plusieurs des réservoirs successivement étudiés, l'examen géologique approfondi du terrain a montré que, dans l'intérieur même des réservoirs primitivement projetés, affleuraient des couches plus ou moins épaisses d'un terrain très fissuré, désigné sous la dénomination de calcaire noduleux; il était probable que les réservoirs ne se rempliraient pas au-dessus du niveau d'affleurement de ces calcaires. Ces niveaux d'affleurement sont d'ailleurs très difficiles à constater sur les versants des vallées, où ils sont généralement masqués par des éboulis des terrains supérieurs: pour les reconnaître, il faut recourir à des puits profonds creusés dans la partie restée intacte des diverses couches géologiques.

L'avant-projet d'alimentation de 1890 repose sur les bases suivantes:

Au point de vue de l'alimentation, le canal se divise en 5 sections:

1° Le versant de la Marne, entre Joinville (écluse de Bussy) et Langres (écluse du Moulin Rouge), sur 90 kilomètres, y compris 14 kilomètres du canal de la Haute-Marne;

2° Le bief de partage et ses annexes, entre Langres et Villegusien (écluse de Piépape), sur 19 kilomètres;

3° Le versant de la Saône, entre Villegusien et Pontailler, sur 58 kilomètres.

Les besoins de l'alimentation sont comptés pour les pertes par infiltration et évaporation à raison de 2 mèt. cub. 500 par mètre courant et par 24 heures. Toutefois, dans la 2° section, l'expérience a fait reconnaître : 1° que le bief de partage proprement dit, sur 10 kilomètres, reçoit plus d'eau qu'il n'en perd par filtration, et qu'on pouvait négliger cette longueur de 10 kilomètres dans l'évaluation des besoins; 2° que sur le reste de la section, les pertes ne dépassaient pas 1 mèt. 250 par mètre courant et par 24 heures.

Le bief de partage doit recevoir en outre le volume nécessaire pour les éclusées; en prévision d'un trafic de 700 000 tonnes et d'un chargement moyen de 150 tonnes par bateau, on compte de ce chef 6 557 000 mètres cubes.

Enfin, pour les pertes des portes des écluses du bief de partage, on compte 1 460 000 mètres cubes.

La consommation totale journalière et annuelle s'établit donc ainsi qu'il suit :

NATURE DES BESOINS.	PAR 24 HEURES.		PAR ANNÉE.	
	MONTANT des besoins.	TOTAL par section.	MONTANT des besoins.	TOTAL par section.
	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.
1° Versant de la Marne :				
Infiltrations : $2,50 \times 90\,000$. . .	225 000	225 000	82 125 000	82 125 000
2° Bief de partage et annexes :				
Éclusées	18 000	35 000	6 570 000	12 136 000
Pertes des portes et des ventelles. .	4 000		1 460 000	
Infiltrations : $1,25 \times 9\,000$	11 000		4 106 000	
3° Versant de la Saône :				
Infiltrations : $2,50 \times 58\,000$. . .	145 000	145 000	52 925 000	52 925 000
		405 000		147 186 000

Ressources alimentaires du bief de partage et ses annexes.

Les ressources comprennent deux prises d'eau directes, l'une dans la Marne à Pouvain, tout près de sa source, et l'autre dans le ruisseau de

Saint-Hubert, affluent de la Vingeanne. Ces deux ruisseaux tarissent en été, mais il résulte de la comparaison entre les observations pluviométriques et les jaugeages de deux cours d'eau, qu'ils pourront fournir les 33 000 mètres cubes nécessaires au bief de partage pendant une durée minima de 54 jours environ, correspondant à un débit total utilisé de 1 809 000 mètres cubes par année¹.

Pour arriver à 12 156 000 mètres cubes, il reste à fournir 10 527 000 mètres cubes que l'on empruntera au grand réservoir déjà établi sur la Liez, au nord de la ville de Langres.

Ce réservoir présente une capacité utilisable de 15 374 000 mètres cubes.

Depuis qu'il a été construit, on a reconnu que son bassin versant est insuffisant pour le remplir. Il résulte, en effet, des observations recueillies depuis plusieurs années, que la hauteur de pluie tombée sur le bassin peut s'abaisser à 0 m. 71 et que la partie de cette eau qui arrive au réservoir est représentée par la fraction 0,444, c'est-à-dire par une hauteur d'eau de 0 m. 515. Le bassin versant ayant 3 400 hectares, la quantité d'eau recueillie en année sèche ne serait que de 10 740 000 mètres cubes.

Pour agrandir le bassin versant du réservoir de la Liez, on se propose d'y amener par une rigole de 5 400 mètres de longueur les eaux du bassin versant de la Marne elle-même prises près de Balesmes, à une hauteur suffisante pour qu'elles puissent arriver au réservoir. On ajouterait ainsi au bassin versant de la Liez une surface supplémentaire de 1 450 hectares qui, d'après les bases indiquées ci-dessus, pourrait donner 4 582 000 mètres cubes d'eau.

Le régime de cette partie supérieure du bassin de la Marne est absolument torrentiel et le débit de la rivière y passe de 7 litres par seconde à 7 mètres cubes. L'établissement d'une rigole appelée à recevoir aussi un fort débit a paru trop coûteux : on se propose, en conséquence, de commencer par laminer les crues en les recevant dans trois petits bassins d'emménagement établis sur les trois affluents dont la réunion constitue la Marne elle-même. Leur surface en eau serait de 5 h. 85 a., 2 h. 55 a. et 1 h. 67 a., soit en tout 8 h. 5 a., et leur capacité de 51 000, 35 000 et 18 000 mètres cubes, en tout 102 000 mètres cubes, représentant le volume d'eau amené par une forte crue durant 4 heures. L'écoulement de ce volume par la rigole durerait 50 heures. Les ingénieurs estiment que, pour tenir compte des pertes propres de la rigole et des crues dont le volume dépasserait

1. Il est bien entendu que les deux ruisseaux pourront être et seront en fait utilisés pendant plus de 54 jours, puisque leur débit journalier ne passe pas brusquement de 33 000^{ms} à zéro. C'est uniquement pour faciliter l'exposé que nous introduisons le nombre de jours d'utilisation exclusive des prises d'eau directes, nombre qui ne répond pas d'une manière absolue à un fait réel dans la pratique de l'alimentation. La même observation s'applique à tous les calculs analogues et nous ne la reproduirons pas.

celui des bassins de laminage, il convient de compter sur 5 055 000 mètres cubes seulement dans les années sèches, au lieu de 4 582 000 mètres cubes. Le réservoir de la Liez pourrait donc recevoir en année sèche, $10\,740\,000 + 5\,055\,000$, soit en tout. 15 795 000 m. c.

Nous avons vu qu'il devait en fournir au bief de partage. 10 527 000 m. c.

Il restait donc pour l'alimentation des versants un cube disponible de. 5 468 000 m. c.

Ressources alimentaires du versant de la Marne.

Ces ressources comprennent :

Les prises d'eau directes dans la Marne ;

La réservoir de la Mouche déjà construit ;

Le réservoir de Charmes projeté.

Les ingénieurs admettent, sous la réserve mentionnée à la note précédente, que les prises d'eau directes suffiront à l'alimentation du versant de la Marne pendant 275 jours par an, et que le volume à emprunter aux réservoirs correspond à 90 journées complètes d'alimentation.

	m ³ .
Les prises directes fourniraient donc environ.	61 875 000
Les réservoirs.	20 250 000
Total égal à celui du tableau ci-dessus.	82 125 000
Le réservoir de la Mouche a une capacité utile de.	8 648 000
Celui de Charmes.	11 620 000
Total.	20 268 000

Il n'entre pas dans le cadre de ce rapport de décrire les dispositions de ces deux réservoirs ; nous nous bornerons à en faire connaître les données caractéristiques au point de vue purement hydraulique.

NATURE DES DONNÉES.	RÉSERVOIR DE LA MOUCHE (exécuté).	RÉSERVOIR DE CHARMES (à exécuter).
Superficie du bassin versant.	6 500 h.	5 086 h.
Superficie du réservoir	97 h.	204 h.
Volume annuel minimum susceptible d'être recueilli.	20 504 000 m. c.	16 070 000 m. c.
Hauteur d'eau correspondante.	0 m. 52	0 m. 52
Capacité utile du réservoir.	8 648 000 m. c.	11 620 000 m. c.

On est donc en droit de compter sur un remplissage supplémentaire de

nature à parer aux besoins imprévus, notamment à ceux qui pourraient résulter d'un remplissage des biefs après un chômage d'été.

Ressources alimentaires du versant de la Saône.

Les prises d'eau directes dans la Vingeanne sont présumées pouvoir suffire à l'alimentation pendant 185 jours, ce qui correspond à un cube de. 41 180 000 m. c.

Le volume à tirer des réservoirs sera donc de. 11 745 000 » »

Total égal à celui des besoins. 52 925 000 » »

On ne prévoit actuellement qu'un seul réservoir, celui de Villegusien, dont la capacité utile est de. 8 558 000 m. c.

Le reliquat disponible du réservoir de la Liez est de. 5 468 000 » »

Le total, soit. 11 806 000 » »

est supérieur de. 61 000 » »

au chiffre des besoins prévus, soit. 11 745 000 » »

On se trouve donc sur ce versant dans des conditions plus avantageuses encore que sur le versant de la Marne ; en effet, le bassin versant du réservoir de Villegusien étant de 8 650 hectares, le volume d'eau tombée annuellement et susceptible d'être reçu dans le réservoir est évalué à 27 550 000 mètres cubes à raison de 0 m. 52 de hauteur. Il est donc permis de compter sur un deuxième remplissage, au moins partiel, qui viendrait couvrir très largement les besoins aléatoires résultant d'un remplissage du canal après un chômage.

Telles sont les principales données du plan d'alimentation du canal de la Marne à la Saône : elles ne sont encore que partiellement sanctionnées par les faits ; mais elles sont le fruit d'études minutieuses poursuivies depuis plus de vingt années et perfectionnées avec persévérance au fur et à mesure que l'exécution progressive des travaux mettait en lumière des faits nouveaux propres à éclairer la solution de ce difficile problème. A ce titre, elles nous ont paru mériter d'attirer particulièrement l'attention des membres du V^e Congrès de navigation.

Les dépenses actuellement exécutées s'élèvent à 9 008 000 francs et les dépenses projetées à 7 577 000 francs. Ces dépenses se répartissent comme il suit entre les divers ouvrages :

	fr.	fr.
1 ^o Réservoir de la Liez.	2 989 000 »	
Rigole alimentaire.	50 000 »	
Bassin d'emmagasinement de Balesmes.	248 000 »	
Rigole de Balesme au réservoir de la Liez.	200 000 »	
Ensemble à reporter.	<hr/>	3 467 000 »

<i>Report.</i>	5 467 000	»
2° Réservoir de la Mouche.	5 095 000	»
Rigole alimentaire de la Mouche.	561 000	»
5° Réservoir de Charmes.	5 252 000	»
4° Réservoir de Villegusien.	5 518 000	»
5° Prises d'eau directes au nombre de 12 sur le versant de la Marne.	565 000	»
6° Prises d'eau directes au nombre de 10 sur le versant de la Saône.	551 000	»
Total pareil.	46 585 000	»

Le réservoir de la Liez revient, par mètre cube de capacité, à $\frac{2\,989\,000}{15\,574\,000} = 0,194$; celui de la Mouche à $\frac{5\,095\,000}{8\,648\,000} = 0,589$; celui de Charmes à $\frac{5\,252\,000}{11\,620\,000} = 0,278$; et celui de Villegusien à $\frac{5\,518\,000}{8\,558\,000} = 0,422$.

Si nous laissons de côté les dépenses afférentes aux prises d'eau directes, il reste à compter 15 871 000 francs; l'intérêt et l'amortissement annuel correspondant à cette somme s'élèvent :

Au taux de 6 pour 100, à 952 260 francs.

Au taux de 4 pour 100, à 634 840 francs.

En y ajoutant, pour l'entretien annuel, une somme de 40 000 francs, et en arrondissant les totaux, nous arrivons à des chiffres de 995 000 et 675 000 francs.

Le volume à déverser annuellement dans le canal au moyen des réservoirs étant de 42 340 000 mètres cubes, le prix de revient est de $\frac{995\,000}{42\,340\,000} = 0$ fr. 025, en comptant l'intérêt et l'amortissement à 6 pour 100, et $\frac{675\,000}{42\,340\,000} = 0,016$ en les comptant à 4 pour 100.

Si, au lieu du prix moyen, on cherche pour chacun des versants et pour le bief de partage, le prix de revient du mètre cube déversé, on arrive à des résultats assez différents de la moyenne : au taux de 4 pour 100, ces prix élémentaires sont de 0,010 au bief de partage, 0,015 sur le versant de la Saône et 0,020 sur le versant de la Marne.

ALIMENTATION DU CANAL DE LA CHIERS

Le canal de la Chiers a été déclaré d'utilité publique par une loi du 26 juillet 1881; la construction en a été ajournée par suite de difficultés budgétaires; l'étude des projets d'exécution n'en a pas moins été poursuivie jusqu'en 1886, notamment en ce qui concerne l'alimentation. Les difficultés spéciales du problème nous paraissent justifier quelques indications sommaires sur la dernière solution présentée par les ingénieurs.

Le canal commence à Mont-Saint-Martin, près la limite commune de la Belgique, de la France et du Luxembourg. Il descend la vallée de la Chiers

en passant à Longwy, Longnyon, Montmédy et Carignan, et se réunit au canal de l'Est entre Mouzon et Sedan.

Sa longueur est de 90 kilomètres.

Il a pour objet de desservir le groupe métallurgique de Longwy dont la production, en fonte, représente environ le tiers de la production totale de la France.

Au point de vue de l'alimentation, le canal de la Chiers se divise en deux sections ; l'une, comprenant les 16 kilomètres d'amont, ne peut être alimenté en basses eaux que par des moyens artificiels ;

La deuxième, comprenant les 74 derniers kilomètres, peut recevoir directement en tout temps, de la Chiers ou de ses affluents, un volume d'eau suffisant pour réparer les pertes.

C'est sur la première partie que doit se concentrer la presque totalité du trafic, notamment sur les deux biefs d'amont.

Les ingénieurs avaient admis un tonnage de 650 000 tonnes par an, soit en moyenne 2 200 tonnes par jour ou 15 bateaux par jour avec un chargement moyen de 200 tonnes. Pour tenir compte des variations journalières de la fréquentation, ainsi que de son accroissement probable, ils prévoyaient 55 éclusées par jour, soit à raison de 800 mètres cubes par éclusée 28 000 m. c.

Les pertes par évaporation et infiltration étaient estimées à 2 mètres cubes par mètre courant et par 24 heures, soit

pour 16 500 mètres 55 000 m. c.

TOTAL JOURNALIER POUR LA 1^{re} SECTION 61 000 m. c.

La consommation annuelle était donc :

1° 61 000 mètres cubes \times 350 = 21 650 000 m. c.

2° Remplissage après chômage 825 000 m. c.

TOTAL 22 475 000 m. c.

Les ingénieurs admettaient que l'on pourrait alimenter directement le canal au moyen des eaux de la Chiers pendant la moitié de l'année ; mais, pendant l'autre moitié, il serait nécessaire de recourir à d'autres procédés.

La création de réservoirs a été reconnue impossible à la suite de longues et minutieuses études. Deux emplacements paraissaient assez favorables : l'un, sur la Chiers en amont de Mont-Saint-Martin, ne présentait qu'un faible bassin versant et il aurait empiété sur les territoires belges et luxembourgeois ; l'autre était dans la vallée transversale de la Moulaine ; l'examen superficiel des flancs du vallon faisait supposer qu'il avait été ouvert par érosion dans des bancs de marnes imperméables restés en place sur le fond et les parois. Des sondages profonds ont fait reconnaître, au contraire (comme à l'emplacement de plusieurs des réservoirs projetés au canal de la Marne à la Saône), que le vallon avait été ouvert par une

fracture dans des roches calcaires ferrugineuses ; le fond et les parois de cette fracture étaient tapissés par un manteau d'éboulis provenant de marnes ou d'argiles supérieures, mais ce manteau était tout à fait insuffisant pour assurer l'imperméabilité du réservoir projeté.

Force était donc de recourir à l'emploi de machines élévatoires, et, en l'absence de toute force hydraulique sérieuse utilisable, à des machines à vapeur.

Le projet les répartit en trois groupes :

1° Le groupe de Longuyon, qui puise les eaux en aval du confluent de la Crusne, à l'altitude 206 m. 50, et les refoule, à l'altitude 219 m. 85 (différence 13 m. 35), dans une rigole d'un kilomètre de longueur aboutissant à l'aval du bief N° 12. Ce bief, de 4 kilomètres de longueur, reçoit à l'amont le produit d'une prise d'eau directe dite de Montigny ;

2° Un deuxième groupe de machines établies à l'amont du même bief N° 12 y puise les eaux prises à l'altitude 219 m. 27 et les refoule, à l'altitude 256 m. 92 (différence 37 m. 65), dans une rigole de 15 kilomètres de longueur qui aboutit au bief N° 1 ;

3° Enfin un troisième groupe de machines établi à Mont-Saint-Martin puise l'eau dans la Chiers à l'altitude 256 m. 50 pour la refouler, à l'altitude maxima 264 m. (différence 7 m. 50), dans un réservoir de 2 000 000 mètres cubes, destiné à parer aux arrêts dans le fonctionnement des machines et à subvenir aux besoins d'un remplissage rapide.

Le groupe de Longuyon est prévu pour un débit journalier de 56 000 mètres cubes, correspondant à une force utile de 75 chevaux-vapeur.

Le groupe de Montigny est plus important ; il doit pouvoir débiter 62 000 mètres cubes, chiffre présumé de la consommation journalière, ce qui correspond à une force utile de 365 chevaux-vapeur.

Enfin, le groupe de Mont-Saint-Martin est prévu pour un débit de 500 litres par seconde ou 45 000 mètres cubes par jour, avec une force utile de 50 chevaux, de manière à pouvoir remplir le réservoir très rapidement, en cinquante à cent jours, durée habituelle des crues utilisables de la Chiers supérieure. Ce réservoir, à peu près rectangulaire, accolé d'un côté au coteau de rive droite et limité par une digue sur les trois autres côtés, occupe à peu près tout l'espace disponible entre les aciéries de Longwy et les frontières de la Belgique et du Luxembourg.

En aval de Montigny, sur 74 kilomètres, l'alimentation était réalisée au moyen de prises d'eau directes dans la Chiers ou dans ses affluents.

On s'était attaché, dans l'étude du canal, à soustraire soigneusement les biefs à l'action des sous-pressions qui rendent si difficiles tous les procédés d'étanchement. Le canal franchit d'ailleurs un assez grand nombre d'affluents, et à son extrémité il traverse par un pont canal la large vallée de la Meuse. Le plan d'eau des biefs est donc en général fort élevé au-dessus du niveau correspondant des eaux de la rivière ; aussi les prises d'eau directes se présentent dans des conditions d'exécution particulièrement

difficiles ; l'une d'elles, celle pratiquée dans l'Othain, exigeait une rigole de 1 700 mètres de longueur dont 1 400 en souterrain ; celle pratiquée dans la Thonne avait une rigole de plus de 5 kilomètres. On avait jugé nécessaire de les multiplier, afin de profiter des eaux de filtrations qui rentrent toujours en rivière dans une certaine proportion et afin de ne pas apporter une perturbation trop grande au régime antérieur de la rivière : 12 prises d'eau étaient prévues sur 90 kilomètres, donnant ainsi un écart moyen de 7 kil. 1/2.

Le chiffre des dépenses prévues était de 5 790 000 francs ainsi réparti :

	fr.	fr.
Usine de Longuyon.	242 500 »	
Rigole d'alimentation.	202 500 »	
Total pour le groupe de Longuyon.		445 000 »
Usine de Montigny.	800 000 »	
Rigole de prise d'eau.	66 000 »	
Rigole d'alimentation.	1 524 000 »	
Total pour le groupe de Montigny. . .		2 390 000 »
Réservoir de mont Saint-Martin. . . .	1 472 000 »	
Machines alimentaires.	135 000 »	
Rigole d'alimentation.	93 000 »	
Total pour le groupe de mont Saint-Martin.		1 700 000 »
Total pour les biefs supérieurs.		4 535 000 »
Établissement de prises d'eau directes dans la Chiers, l'Othain, la Thonne.		1 255 000 »
Total pour l'alimentation.		<u>5 790 000 »</u>

Les dépenses d'alimentation du bief n° 1 représentent, pour l'intérêt et l'amortissement, une dépense annuelle de 272 000 francs, au taux de 6 pour 100, et de 181 000 francs, au taux de 4 pour 100.

En admettant que le cube déversé annuellement dans ce bief s'élevât à 11 000 000 de mètres cubes, le prix de revient du mètre cube serait, de ce chef, de 0 fr. 025 au taux de 6 pour 100 et de 0 fr. 017 au taux de 4 pour 100.

Les ingénieurs n'ont pas donné d'indication sur les dépenses présumées d'exploitation : on peut admettre que le prix de revient de 1 000 mètres cubes, montés à 1 mètre, serait le même qu'à l'usine de Vacon, qui fonctionne à peu près dans les mêmes conditions d'intermittences, c'est-à-dire 0,40. Or l'usine de Longuyon aurait élevé 56 000 mètres cubes à 14 mètres pendant 180 jours, ce qui correspond à 56 000 mc. \times 14

\times 180 = 91 000 000 mc.
élevés à 1 mètre ou à une dépense de 0,40 \times 91 000 = 36 000 fr.

L'usine de Montigny aurait élevé 62 000 mètres cubes à 38 mètres pendant 180 jours, ce qui correspond à 62 000 \times 38

\times 1,80 = 424 000 000 mc.
à 1 mètre ou à une dépense de 0,40 \times 424 000 = 170 000 fr.

Enfin, l'usine de Mont-Saint-Martin aurait élevé 2 000 000 de mètres cubes

à 7 m. 50, ce qui correspond à 15 000 000 de mètres cubes à 1 mètre ou à une dépense de $0,40 \times 15\,000 =$ 6 000 fr.

La dépense totale d'exploitation peut donc être évaluée à

56 000 fr. + 170 000 fr. + 6 000 fr. = 212 000 fr.

soit pour 11 000 000 de mètres cubes à $\frac{212\,000}{11\,000\,000} =$ 0,019

par mètre cube déversé dans le bief n° 1.

La dépense totale, par mètre cube déversé, peut donc être évaluée :

au taux de 6 pour 100, à $0,025 + 0,019 =$ 0 fr. 044

et au taux de 4 pour 100, à $0,017 + 0,019 =$ 0 fr. 036

ALIMENTATION DU CANAL DE MONTBÉLIARD A LA SAONE

Le canal de Montbéliard à la Saône est destiné à relier le canal du Rhône au Rhin en amont de Montbéliard à la partie supérieure de la Saône canalisée près de Conflandey. Le bief de partage a une longueur de . . . 10 k. 500

Le versant est ou de l'Allaine 17 k. 400

Le versant ouest ou de la Saône 55 k. 500

TOTAL. 85 k. 000

Le bief de partage et les parties voisines des deux versants doivent être alimentés par un réservoir dit du Ban de Champagnéy d'une surface de 106 hectares et d'une capacité utile de 15 000 000 de mètres cubes.

Ce réservoir présente cette particularité d'être établi dans un vallon affluent de la rivière la Lusine et d'être alimenté par les eaux d'un autre bassin, celui du Rahin.

La rigole alimentaire du réservoir a une longueur de 5 500 mètres et ses dimensions sont établies par un débit de 15 mètres cubes par seconde. La prise d'eau établie un peu en aval du village de Plancher Bas permettra de prélever annuellement sur le débit du Rahin un volume de 25 à 50 millions de mètres cubes tout en laissant dans la rivière un volume égal pour les besoins de l'agriculture et de l'industrie.

La prise d'eau est à la cote 415,80 au-dessus du niveau de la mer, la retenue normale du réservoir est à la cote 411,85, ce qui donne pour la rigole alimentaire une pente de plus de 1 mètre par kilomètre. Elle franchit par un petit souterrain de 160 mètres de longueur le faite séparatif du Rahin et de la Lusine.

Le réservoir est formé par une digue en maçonnerie de 58 mètres de hauteur au-dessus des fondations : sa plus grande largeur à la base est de 27 mètres, sa largeur au niveau de la retenue normale de 5 mètres, sa revanche au-dessus de ce niveau de 2 m. 50. En plan, la digue, qui a 800 mètres de longueur totale, se compose d'une partie rectiligne d'environ 100 mètres de longueur qui couronne un mamelon et de deux branches courbes dont la convexité est tournée vers l'intérieur du réservoir. La branche Est a 500 mètres de longueur, elle barre la vallée proprement dite

de la Lusine. La branche Ouest a 200 mètres de longueur et barre une dépression secondaire. On a établi trois ouvertures dans la digue, une bonde de fond à la cote 579, une prise d'eau inférieure à la cote 582 et une prise d'eau supérieure à 597. La prise d'eau inférieure s'effectue au moyen d'un souterrain établi en contre-bas des fondations du mur.

Un déversoir de superficie sera établi en vue d'un débit de 10 mètres cubes par seconde.

Le débit journalier à fournir au bief de partage et à ses versants pendant la période des sécheresses est évalué à 80 000 mètres cubes et à 200 000 mètres cubes au moment d'un remplissage. La consommation moyenne est évalué à 44 000 mètres cubes par 24 heures, soit 16 millions de mètres cubes par année, non compris le produit des prises d'eau directement effectuées dans les cours d'eau voisins des versants. Les pertes par évaporation et infiltration sont estimées, pour l'ensemble du réservoir et des rigoles, à 50 pour 100 du volume à utiliser, soit 8 millions de mètres cubes, le prélèvement total sur le débit du Rahin serait donc de 24 millions de mètres cubes. Le débit total annuel étant de 60 millions, la proportion serait de 40 pour 100. Le débit du cours d'eau ne serait jamais réduit au-dessous de 500 litres par seconde.

Le bief de partage, la rigole d'alimentation et le mur du réservoir forment un seul lot d'entreprise s'élevant à 11 millions 1/2, non compris le prix des terrains. Les travaux, commencés en 1881, ont été d'abord menés très activement, puis complètement interrompus par suite de difficultés budgétaires : ils ont été repris avec une certaine activité en 1891 et les dépenses faites sur ce point s'élèvent aujourd'hui à environ 8 000 000 de francs, sans compter les indemnités de terrains.

D'après la situation actuelle des travaux, on peut présumer que le mètre cube de capacité utile du réservoir reviendra à environ $\frac{5\,504\,000}{15\,000\,000} = 0 \text{ fr. } 40$;

le mètre cube d'eau prélevé sur le Rahin, à $\frac{5\,928\,000}{24\,000\,000} = 0 \text{ fr. } 25$; et le

mètre cube d'eau déversé dans le bief de partage, à $\frac{5\,928\,000}{16\,000\,000} = 0 \text{ fr. } 37$.

L'intérêt et l'amortissement de cette somme, à 6 pour 100, représentent. 0,022

Les frais d'entretien annuels seront probablement d'environ 50 000 francs, soit par mètre cube $\frac{50\,000}{16\,000\,000} =$ ou. 0,002

Total. 0,024

En comptant le taux à 4 pour 100 au lieu de 6 pour 100, ce prix s'abaisse à 0 fr. 017.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Nous résumons, dans le tableau ci-dessous, les différents renseignements

DÉSIGNATION DE LA VOIE NAVIGABLE.	VOLUME D'EAU VERSÉ annuelle- ment dans le bief de partage.	MODE D'ALIMENTATION.	DÉPENSE TOTALE de premier éta- blissement.	INTÉRÊT et AMORTISSE- MENT de cette dépense aux taux de 6 pour 100.	INTÉRÊT et AMORTISSE- MENT de cette dépense aux taux de 4 pour 100.	DÉPENSE D'EX- PLOI- TATION.	PRIX DE REVIENT DE 1 MÈTRE CUBE AFFÉRENT			PRIX DE REVIENT TOTAL	
							aux dépenses d'exploit- ation.	à l'intérêt du capital à 6 pour 100.	à l'intérêt du capital à 4 pour 100.	avec intérêt à 6 pour 100.	avec intérêt à 4 pour 100.
	m. c.		fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Embranchement de Nancy	8 808 000	Machines hydrauliques de Messin.	838 000	51 480	54 520	42 900	0,001	0,006	0,004	0,007	0,005
Canal de l'Aisne à la Marne	18 000 000	— de Condé/s/ Marne.	2 851 000	171 000	114 000	17 000	0,001	0,010	0,006	0,011	0,007
Canal de la Marne à la Saône (bief de partage)	40 527 000	Réservoir de la Liez (p' les 2/5 de sa capacité et de son prix de revient)	2 400 000	144 000	96 000	10 000	0,001	0,014	0,009	0,015	0,010
Canal de la Marne à la Saône (versant de la Saône)	11 713 000	Réservoir de Villegusien	5 518 000	211 080	140 720	11 000	0,001	0,018	0,012	0,019	0,015
Canal de la Marne à la Saône (dans son ensemble)	42 540 000	Réservoirs de la Liez de la Mouche, de la Charmes et de Villegusien.	43 871 000	952 260	654 840	41 000	0,001	0,022	0,015	0,025	0,016
Canal de la Marne au Rhin	4 800 000	Machines hydrauliques de Pierre la Treiche et de Valcourt.	1 654 000	98 000	65 400	16 500	0,0054	0,0206	0,0156	0,024	0,017
Canal de Montbelliard à la Saône	16 000 000	Réservoir	5 928 000	536 000	257 000	50 000	0,002	0,022	0,015	0,024	0,017
Canal de l'Oise à l'Aisne	11 000 000	Mach. hydrauliques de Bourg-Comin	4 298 000	252 000	168 000	20 000	0,002	0,025	0,015	0,025	0,017
Canal de la Marne à la Saône (versant de la Marne)	20 268 000	Réservoir de la Liez (pour 1/5), de la Mouche et de Charmes	1 067 000 5 654 000 5 252 000	537 180	538 420	20 000	0,001	0,029	0,019	0,050	0,020
Canal de l'Est (branche Sud).	14 000 000	Réservoir de Bouzey alimenté par une rigole.	7 258 000	454 000	290 000	55 000	0,004	0,051	0,021	0,055	0,025
Canal de la Chiers	2 000 000	Machines à vapeur de Longuyon et de Montigny	2 855 000	170 000	115 000	206 000	0,025	0,019	0,012	0,042	0,035
Canal de la Chiers	2 000 000	Machines à vapeur et réservoir de Mont-Saint-Martin	1 700 000	102 000	68 000	6 000	0,005	0,051	0,054	0,054	0,057
Canal de la Marne au Rhin	1 650 000	Machines à vapeur de Vacon	4 250 000	75 000	50 000	24 000	0,015	0,045	0,050	0,060	0,045
Totaux et moyennes	127 658 000	Divers	44 576 000	2 661 740	1 774 560	428 200	0,005	0,019	0,012	0,022	0,015

relatifs au prix de revient du mètre cube déversé dans les biefs supérieurs des canaux que nous venons d'étudier. Ces différentes voies sont classées dans l'ordre croissant des prix de revient de l'eau d'alimentation.

Il est difficile de tirer de l'étude qui précède des conclusions générales qui puissent utilement être soumises à une discussion au sein du Congrès.

La question d'alimentation est assurément celle qui a excité davantage l'esprit d'invention et de sagacité des ingénieurs de navigation ; la solution en est éminemment variable suivant les circonstances locales.

Cette réserve générale étant faite, on doit cependant, croyons-nous, conclure de l'étude qui précède que, depuis 25 ans, l'alimentation par machines hydrauliques a fait ses preuves tant au point de vue de la régularité qu'au point de vue du prix de revient.

Il peut en résulter des conséquences importantes au point de vue du tracé même des voies navigables à créer ultérieurement : c'est, en effet, dans la partie moyenne des cours d'eau que les rivières ont un débit suffisant pour permettre la création de forces de 500 à 1 000 chevaux comme celles de Condé, de Toul, de Bourg-Comin. C'est donc vers cette partie moyenne, généralement plus riche et plus industrielle, que l'on cherchera probablement dans l'avenir à établir les biefs de partage dont la plupart traversaient les parties les plus élevées et les plus déshéritées du territoire.

Malgré les excellents résultats donnés par les moteurs hydrauliques, on ne peut toutefois considérer une alimentation comme définitivement assurée si l'on ne dispose, au moins au bief de partage, d'un petit réservoir susceptible d'assurer le remplissage et une alimentation indépendante pendant quelques jours.

Quant aux machines à vapeur, leur rôle a été limité jusqu'ici à celui d'un auxiliaire venant au secours des cours d'eau pérennes ou des moteurs hydrauliques au moment des basses eaux. Le projet d'alimentation du canal de la Chiers démontre que, quand on est obligé de leur faire jouer un rôle plus actif, on arrive à d'énormes dépenses annuelles qui ne peuvent être justifiées que par la prévision d'un trafic considérable.

Nous dirons peu de chose des réservoirs : ils ne jouent qu'un rôle secondaire dans l'alimentation des canaux de la région de l'Est, et les dispositions topographiques et géologiques de la région en ont toujours rendu l'établissement particulièrement difficile. L'expérience montre toutefois que l'on ne doit pas compter sur un emmagasinement sensiblement supérieur à 40 pour 100 de la hauteur d'eau tombée, et que pour la mesure de cette hauteur, les indications des pluviomètres peuvent souvent être taxées à bon droit d'exagération. Quant aux réservoirs alimentés par des rigoles, leur remplissage est plus sûr, mais ils entraînent à des dépenses à peu près équivalentes à celles des moteurs hydrauliques.

Il est rare, d'ailleurs, que les ingénieurs aient le choix entre ces diverses solutions, au moins quand le tracé du canal est lui-même subordonné à d'autres considérations que celles de l'alimentation. Mais il est un point

sur lequel ils ont plus de latitude : nous voulons parler du degré d'étanchéité qu'il convient de donner à la cuvette.

Bien souvent, en effet, sauf pour les canaux à très gros trafic, les pertes par infiltrations sont bien supérieures à la consommation due aux éclusées. Or ces pertes peuvent varier de 400 à 500 litres par mètre courant et par 24 heures pour un canal entièrement bétonné, à 5 ou 6 mètres cubes pour un canal établi dans un terrain assez perméable. Nous ne parlons même pas des terrains de rocher fissuré, où les infiltrations n'ont pour ainsi dire pas de limites, et où le bétonnage complet s'impose sans discussion.

Entre les deux extrêmes indiqués plus haut, de 0^m^c 500 à 5 mètres cubes, on comprend que par des bétonnages plus ou moins étendus on arrive à réaliser le degré d'étanchéité que l'on se sera fixé d'avance; mais il est très difficile d'évaluer la dépense à laquelle on aboutira et, par conséquent, de savoir d'avance s'il y a avantage à créer des ressources d'alimentation plus abondantes ou à restreindre les pertes inutiles. C'est un dilemme qui se pose journellement aux ingénieurs de navigation non seulement au moment de la construction des voies nouvelles, mais encore et surtout pour l'entretien et l'amélioration des voies anciennes.

C'est sur la discussion de cette question que nous nous permettons, en terminant, d'appeler spécialement l'attention du V^e Congrès de navigation intérieure.

Épinal, le 1^{er} février 1892.







V^{ème} CONGRÈS INTERNATIONAL DE NAVIGATION INTÉRIEURE
PARIS 1892

3^{me} QUESTION

MOYENS EMPLOYÉS EN ITALIE

POUR

L'ÉTANCHEMENT DES CANAUX

RAPPORT

PAR

M. G. BOMPIANI

Inspecteur du Génie civil

Président du Conseil général des travaux publics, à Rome

AVEC LE CONCOURS DE

M. L. LUIGGI

Ingénieur du Génie civil, à Gènes

PARIS

IMPRIMERIE GÉNÉRALE LAHURE

9, RUE DE FLEURUS, 9

1892

MOYENS EMPLOYÉS EN ITALIE

POUR

L'ÉTANCHEMENT DES CANAUX

RAPPORT

PAR

M. G. BOMPIANI

Inspecteur du Génie civil,
Président du Conseil général des travaux publics, à Rome.

AVEC LE CONCOURS DE

M. L. LUIGGI

Ingénieur du Génie civil, à Gênes.

I. — Généralités sur les canaux navigables d'Italie.

Double usage des canaux navigables en Italie. — Presque tous les canaux navigables italiens servent à deux fins : la *navigation et l'irrigation* ou la *navigation et le drainage*. Cette double condition de fonctionnement permet seule d'expliquer certaines particularités de construction qui leur sont propres.

Parmi les canaux navigables qui servent à l'irrigation, et quelquefois aussi à la production de force motrice, il convient de citer ceux de la Lombardie, dérivés du Tessin ou de l'Adda, ceux qui parcourent les hautes plaines de la Vénétie et de l'Émilie.

Parmi les canaux navigables qu'on utilise aussi pour drainer les plaines marécageuses ou pour écouler plus directement à la mer certains cours d'eau, nous mentionnerons les canaux inférieurs de la vallée du Pô, ceux qui traversent les territoires de Ferrare et de Ravenne, le réseau très important des provinces de Rovigo, de Padoue et de Venise, celui des provinces du Frioul et de Trévise, et enfin les canaux Pisans et Pontins que la navigation utilise peu, mais qui sont de la plus grande importance pour le régime hydraulique des terrains traversés.

Les canaux navigables présentent des conditions très différentes et en

quelque sorte opposées, quant à l'alimentation et quant au tirant d'eau, selon que leur seconde attribution consiste à irriguer les campagnes environnantes ou à les drainer. De là deux groupes bien distincts.

Canaux sujets à des pertes d'eau sensibles. — Les canaux du premier groupe traversent en général des terrains d'alluvion ou d'origine glaciaire, désagrégés, formés de galets, de gravier et de sable plus ou moins fin. La position de leur plan d'eau au-dessus de la nappe souterraine varie entre les limites très larges de 5 et 45 mètres. Ils seraient donc naturellement sujets à de grandes déperditions d'eau si l'on n'avait soin d'y parer par des revêtements en matériaux imperméables. C'est en effet sur les canaux de ce groupe qu'on rencontre surtout les importants travaux d'étanchement qui font le principal objet du présent mémoire.

Canaux peu sujets à des pertes d'eau. — Les canaux du second groupe, au contraire, sont presque toujours ouverts dans des terrains plus ou moins compacts, où l'argile prédomine. Leur plan d'eau est d'ailleurs, le plus souvent, au niveau de la nappe souterraine, ou même au-dessous de ce niveau. Bien loin, dès lors, d'être exposés à des pertes d'eau par filtration, ils offrent en général un débouché aux eaux d'alentour et sont ainsi sujets à des crues.

Certains canaux de ce groupe ont, à la vérité, surtout vers l'aval, des parties en relief sur les terrains environnants. On en trouve divers exemples en Vénétie et en Polésine. Mais ici encore les eaux s'écoulent dans une cuvette argileuse peu perméable, et d'ailleurs l'alimentation facile et abondante permet de négliger quelques légères déperditions.

Il est donc rare qu'on doive établir, uniquement en vue de l'étanchéité, des ouvrages de revêtement dans les canaux du second groupe. C'est tout au plus si l'on prend quelques précautions contre la corrosion de leurs berges dans les parties qui dominent les campagnes traversées; et cela bien moins par crainte de voir diminuer le tirant d'eau nécessaire à la navigation que pour éviter la transformation des terrains adjacents en marécages.

Moyens employés pour prévenir les pertes d'eau. — Les canaux de navigation en Italie servant presque toujours à deux fins et les quelques canaux exclusivement affectés à l'irrigation ou au drainage étant, à raison de leurs grandes dimensions et de leur grand débit, presque assimilables aux précédents, il serait inutile d'établir des distinctions entre ces divers types d'ouvrages, dans l'examen que nous allons faire des moyens propres à les étancher.

Parmi ces moyens, les uns, indirects, ont pour principal objet de prévenir la corrosion du lit, dont ils assurent par surcroît l'étanchéité; on en trouve surtout des applications dans les canaux du second groupe. Les autres, directs, consistent à empêcher les déperditions d'eau par de véritables revêtements imperméables du plafond et des berges; on les emploie principalement dans les canaux du premier groupe.

II. — Moyens indirects pour empêcher les pertes d'eau dans les canaux.

Divers genres de travail. — Les moyens d'étanchement indirects sont généralement les suivants :

- a) Mode de construction des digues dans les parties plus élevées que les terrains avoisinants;
- b) Formation de banquettes et sous-banquettes au pied des digues;
- c) Revêtement des talus par des fascines, des clayonnages, des plantations diverses, des semis, etc.;
- d) Protection des berges par des pavages ou des murs à sec.

Ces divers genres de travaux sont bien connus et il aurait suffi de les énoncer si les présentes notes n'étaient spécialement destinées à des ingénieurs étrangers, qui ne trouveront peut-être pas dépourvues de tout intérêt quelques indications sommaires sur les procédés d'exécution usités en Italie et sur la technologie particulière aux ouvrages dont il s'agit.

Mode de construction des digues. — Lorsque le niveau des canaux est supérieur à celui des régions traversées, les parois latérales de la cuvette sont quelquefois des murs en briques ou moellons, avec mortier de chaux hydraulique. On en trouve des exemples sur les canaux navigables de Bologne, de Modène, de Paderno, de la Martesana et sur quelques autres. Mais le plus souvent les murs sont remplacés par des digues en terre argileuse bien corroyée, telles qu'on les rencontre dans les canaux du second groupe, notamment dans ceux qui parcourent les parties basses de la vallée du Pô.

Les règles observées pour la construction de ces digues sont à peu près celles qu'on a adoptées avec succès au canal de Villoresi, qui irrigue une grande partie de la haute Lombardie. Les terres formant les digues de ce canal proviennent, soit des fouilles mêmes de l'ouvrage, soit d'emprunts latéraux; elles ont été transportées à la brouette et au tombereau.

Avant de commencer les remblais, on procédait aux opérations suivantes sur tout ou partie du terrain naturel qui devait les recevoir :

- 1° Enlèvement de la couche végétale;
- 2° Défonçage et essartage du sol sur 0^m,15 de profondeur au dessous de cette couche;
- 3° Recoupage en gradins du terrain en pente, dans les parties à flanc de coteau.

On élevait ensuite les digues en se conformant aux règles suivantes :

- 1° La terre végétale, retroussée sur toute l'étendue des emprises, en déblai comme en remblai, était réservée pour les parties extérieures des digues;
- 2° Toutes les terres destinées aux remblais étaient broyées et purgées des racines, herbes ou autres objets impropres à la construction;
- 3° Ces terres étaient ensuite répandues par couches régulières de 0^m,40

d'épaisseur au plus. Un régaleur, à poste fixe sur chaque atelier de remblai, assurait la bonne exécution de ce travail et empêchait notamment les amas de cailloux qui tendent à se former au pied des talus d'une certaine élévation; ces amas constituent de véritables drains, très propres à favoriser les renards;

4° On prenait en outre, dans certains cas, la précaution de pilonner chaque couche de remblai avant de répandre la suivante.

Renforcement des digues. — Lorsque les règles qui précèdent et certaines autres, plus particulières à chaque cas spécial, ne suffisent pas pour empêcher les filtrations, on doit augmenter la largeur des digues ou les flanquer à l'extérieur de lourds terre-pleins, disposés en banquettes ou sous-banquettes, qui ont le plus souvent pour effet de supprimer les suintements ou d'en réduire notablement l'importance.

Protection des talus au moyen de fascinages et de plantations. — Les filtrations sont quelquefois la conséquence de corrosions produites sur les talus, soit par la trop grande vitesse d'écoulement des eaux, soit par le clapotis résultant de vents violents. On observe ces effets dans les biefs inférieurs d'un grand nombre de canaux navigables des Romagnes, de la Polésine et de la province de Ravenne.

On peut en ce cas protéger les talus au moyen de fascines (fascinaggi, valparoni), de clayonnages (piani di rosta) ou de branches posées à plat; on peut aussi recourir à des plantations de saules, d'aunes ou d'autres essences choisies parmi celles qui prospèrent dans les terrains humides. Lorsque les eaux sont saumâtres, comme au canal navigable de Ravenne, alimenté à l'eau de mer, les plantations de tamaris donnent de bons résultats.

Revêtements à sec en pavages ou en moellons. — Les protections dont nous venons de parler ne sont pas toujours d'un heureux effet dans les canaux navigables, et l'on est souvent conduit à leur préférer les consolidations par pavages ou par muraillements à sec.

Les pavages à sec sont usités sur divers canaux du Piémont et de la Lombardie, dans les régions où l'on trouve en abondance des cailloux d'origine généralement diluvienne. C'est ainsi que, dans certains tronçons du canal Cavour, le plafond et les berges sont revêtus d'un pavage sur lit de sable, exécuté à raison de 0 fr. 50 par mètre carré.

Un travail analogue a coûté 0 fr. 80 au canal de Villorési.

Ces pavages, réduits à 0^m,15 ou 0^m,20 d'épaisseur, ont peu de cohésion et se détériorent facilement.

Aussi préfère-t-on, lorsqu'on a la pierre en abondance, protéger les berges au moyen de véritables revêtements en moellons à sec, tantôt disposés en perrés à plat sur les talus, tantôt élevés en forme de murs de soutènement. La première disposition, désignée quelquefois sous le nom de manteau de pierre (mantellatura di sano), a été adoptée dans la branche orientale du Pô (Po d'ilevante) pour abriter les

berges contre les corrosions que ne manqueraient pas de produire, à certaines époques, les eaux agitées par des vents extrêmement violents. Ces manteaux de pierre ont 0^m.25 d'épaisseur et s'étendent sur 2^m.50 environ au-dessus du niveau où le clapotis produirait sa plus grande action corrosive. Ils sont construits en blocs de trachytes provenant des Alpes Euganéennes. Ces blocs ne pèsent pas moins de 50 kilogrammes. Ils sont taillés sur le parement vu. Leurs autres faces sont ébauchées de façon à former, avec les faces correspondantes des blocs voisins, des joints aussi étroits que possible. Le revêtement, enchâssé dans le talus, présente, quand il est terminé, l'aspect d'un mur à sec dont les pierres sont disposées en mosaïque. L'application qui en a été faite aux berges de la partie orientale du Pô s'étend sur environ 9 kilomètres en longueur et sur presque 24 000 mètres de superficie. La dépense d'établissement a été de 5 fr. 10 par mètre carré, dont 0 fr. 75 à 0 fr. 80 pour la seule main-d'œuvre de construction. Les résultats obtenus ont été des plus satisfaisants, puisque, malgré la grande agitation dans les hautes marées et malgré les courants qui heurtent les berges au moment du reflux, les réparations annuelles ne portent pas sur plus du vingtième de la surface totale revêtue. L'impossibilité de retrouver toutes les pierres éboulées fait monter les frais annuels d'entretien à 2500 francs environ, soit, en chiffre rond, à 250 francs par kilomètre de berges ainsi revêtues.

Les murs de soutènement à sec ont été appliqués sur divers canaux navigables de la Lombardie et de la plaine de Pise. On leur donne ordinairement une épaisseur de 0^m.40 au sommet, avec fruit extérieur d'un tiers. Le prix de revient varie de 2 fr. 50 à 3 francs par mètre carré. Les résultats obtenus sont médiocres.

L'objet essentiel de ces divers genres de travaux étant de protéger les cuvettes et les digues, ils ne contribuent qu'indirectement à empêcher les filtrations d'eau ; aussi croyons-nous inutile d'en parler avec plus de détail.

III. — Moyens directs employés pour rendre étanche le lit des canaux.

Divers modes de revêtement en usage. — Il importe, au contraire, de donner quelques développements à l'étude des moyens propres à prévenir la déperdition des eaux.

Ces moyens sont de trois sortes :

a) Emploi d'eaux troubles ou limonenses, qui déposent leur limon dans les interstices du sol à travers lequel elles tendent à filtrer.

b) Revêtement des talus, soit par des corrois argileux, soit par des mottes herbuses, ou construction de diaphragmes en argile à l'intérieur des digues.

c) Revêtement de la cuvette en pavé avec mortier, en béton, ou en maçonnerie.

Étanchement à l'eau trouble. — Le procédé le plus ancien, le plus simple, le moins coûteux, le plus efficace, mais aussi le moins prompt, consiste à utiliser le limon tenu en suspension par les eaux qui s'écoulent dans le canal même. L'application en a été faite, en des temps éloignés, aux canaux du Piémont, de l'Émilie et de la Vénétie. On continue d'en faire usage lorsque, les eaux d'alimentation étant troubles et abondantes, on peut en perdre impunément une certaine quantité par infiltration durant les premières années de mise en service du canal.

Le dépôt de limon donne en ce cas d'excellents résultats. Deux ou trois années ont suffi pour supprimer toute déperdition d'eau dans les canaux dérivés de la Dora Riparia. Ce mode d'étanchement n'est cependant pas sans présenter quelquefois des inconvénients dans les canaux récemment ouverts. C'est ainsi qu'à peine construit, le canal Depretis, dérivé de la Dora Baltea, a présenté d'abondantes fuites à travers la digue de droite. Les eaux, s'infiltrant dans le sous-sol graveleux, ont envahi les habitations des communes voisines de Brianze et de Sauthia, qu'il a fallu défendre au moyen d'une profonde tranchée de circonvallation. Mais, après un petit nombre d'années, les limons dont ces eaux étaient très chargées ont obstrué les interstices du terrain sableux, et le résultat a été tel qu'aucune trace d'infiltration n'a pu être observée lorsqu'en 1858 on a agrandi le canal au point d'en porter le débit de 15 à 55 mètres cubes par seconde.

Le même fait a été constaté pour le canal Bisatto et pour un grand nombre d'autres canaux des provinces de Vérone, de Padoue, de Trévise et de Vicence, alimentés par les eaux de l'Adige et par les eaux très limoneuses de la Brenta et de la Piave. Bien que ces canaux aient été ouverts dans des terrains très perméables, formés de galets ou de graviers, le limon argilo-calcaire déposé par les eaux d'alimentation sur le plafond et sur les talus a déterminé, au bout d'un petit nombre d'années, tantôt l'étanchéité absolue de la cuvette, tantôt une diminution très notable des infiltrations. Lorsque, sur quelques points, soit en remblai, soit en tranchée, la croûte imperméable vient à être rompue par corrosion, on pilonne un mélange de terre et de mottes de gazon derrière une ligne de palplanches battues et les dépôts vaseux empêchent bien vite le passage des eaux à travers la nouvelle défense ainsi disposée.

Cette méthode est assez lente à produire ses effets. Elle exige de deux à cinq années, quelquefois même davantage, lorsque les eaux sont pauvres en limon.

Le canal Cavour, qui parcourt, sur 82 kilomètres, un terrain d'alluvions caillouteux, très perméable, subit encore des pertes d'eau, bien que sa mise en exploitation remonte à 1866. Il est vrai que ces pertes, sans cesse décroissantes, sont aujourd'hui réduites à des proportions tout à fait tolérables. Pour accélérer la formation des dépôts dans les parties où les fuites étaient les plus abondantes, on a d'abord rendu le fond moins perméable au moyen d'une mince couche d'argile; on a ensuite maintenu au

repos dans la cuvette de l'eau bourbeuse dont la décantation a contribué à l'obturation des terrains avoisinants. Lorsque cette eau avait déposé la plus grande partie de son limon, on la faisait écouler et on la remplaçait par une nouvelle quantité d'eau trouble. Cet artifice, appliqué sur divers tronçons du canal Cavour et spécialement dans le voisinage des ouvrages d'art, a donné d'excellents résultats.

Le procédé d'étanchement par l'eau trouble ne nécessite aucune dépense directe et c'est tout au plus si l'on doit mettre en compte la valeur de l'eau perdue par filtration pendant les premières années. Il présente en outre l'avantage d'étendre ses effets à une grande masse de terrain. Aussi a-t-il été mis en pratique dans un très grand nombre de canaux italiens.

Étanchement au moyen de revêtements ou de diaphragmes argileux. — On a recours aux revêtements en matériaux imperméables lorsque les eaux troubles font défaut, ce qui est le cas d'un grand nombre de canaux de Lombardie, alimentés par les eaux claires du Tessin et de l'Adda, ou encore lorsque la quantité d'eau d'alimentation dont on dispose est trop petite pour qu'on puisse la prodiguer.

Le procédé le plus simple consiste alors à revêtir le plafond et les digues d'une couche d'argile, ou de terre argileuse, ou de mottes de gazon.

Les berges caillouteuses du torrent Gira, qui coule dans la province de Vicence, ont été rendues étanches au moyen d'un revêtement en terres d'alluvion de 0^m,60 d'épaisseur. Ces terres ont été protégées, dans la partie mouillée, par un second revêtement en galets de 0^m,50, et dans la partie généralement à sec, par des mottes de gazon superposées jusqu'à 0^m,15 d'épaisseur vers le plan d'eau et réduites à une simple couche vers les crêtes.

Dans les provinces de Trévise et de Vérone, on a coutume de revêtir pareillement les talus intérieurs de mottes de gazon ou de terre battue.

Dans les biefs en remblai ou à flanc de coteau, on place souvent, en avant des talus intérieurs, des madriers cloués à des pilotis. Derrière les madriers, on dresse un bourrelet de 0^m,20 à 0^m,50 d'épaisseur, formé de mottes de gazon superposées; on garnit ensuite de terre l'espace compris entre ce bourrelet et le talus.

Le bouclier en charpente soutenant les gazons est quelquefois remplacé par une murette de gros galets posés à sec.

Ces ouvrages très simples ont le double avantage de retenir les eaux et de consolider les berges. Leur durée est très longue. Nous ne saurions toutefois l'indiquer avec précision. Quant aux frais nécessaires, soit pour les construire, soit pour les entretenir, ils varient naturellement, d'une localité à l'autre, selon que les salaires sont plus ou moins élevés et que les matériaux de qualité convenable sont plus ou moins abondants. Il est dès lors difficile de donner des chiffres assez approximatifs pour mériter d'être retenus. Nous mentionnerons, à titre de simple indication moyenne, le prix de 5 francs par mètre carré, pour les défenses avec bouclier en

bois, et celui de six francs pour les défenses avec murettes en pierre sèche.

On reproche aux revêtements en terre argileuse ou en gazon d'être trop sujets à dégradation, notamment aux époques des curages périodiques. Aussi remplace-t-on souvent, surtout dans les parties en remblai, les revêtements des talus par des diaphragmes d'argile ou de terre argileuse, incorporés aux digues. On profite alors d'une période de mise à sec pour ouvrir sur l'axe de ces digues des tranchées de 2 à 4 mètres de largeur, qu'on approfondit, à travers le terrain perméable, jusqu'à la rencontre des couches étanches. On remplit ensuite ces tranchées de terres argileuses choisies ou, faute de mieux, des terres qu'on trouve à proximité.

On use de ce procédé avec succès dans un grand nombre de canaux de la Vénétie et de la province de Ravenne. La bonne terre argileuse faisant souvent défaut dans ces dernières localités, on la remplace par un mélange de terre ordinaire et de paille de riz, soigneusement tassée et battue.

Revêtement en pavés. — On a recours aux pavages de revêtement dans les pays où les galets abondent et où les terres argileuses font au contraire défaut. Tel est le cas des parties hautes de la Lombardie et de la province de Vérone.

Ces pavages sont, tantôt sur forme de sable et simplement arrosés de mortier, tantôt à bain de mortier. Dans les pavages à sec, arrosés de mortier, les galets, très peu serrés, reposent à peine sur le sol et les vides qu'ils laissent entre eux ne sont remplis ni de sable, ni d'aucune autre matière. Le travail étant ainsi préparé, on procède à un premier arrosage à l'eau, puis à un second avec du mortier très liquide dont on facilite la pénétration entre les galets par un damage énergique, en ayant soin de remplir à nouveau de mortier les vides qui apparaissent à la suite du damage.

On trouve des pavages de cette sorte sur divers canaux de Lombardie et notamment sur le canal Villoresi, dérivé du Tessin. L'épaisseur moyenne du pavage est, dans ce dernier cas, de 18 centimètres et le remplissage des vides absorbe 0^m⁵,045 de mortier par mètre superficiel. La dépense par mètre est de 1 fr. 40.

Ce pavage donne quelquefois des résultats peu satisfaisants, surtout lorsque le terrain sur lequel il repose n'a pas son assiette complète. Le revêtement finit alors par se rompre et ne constitue plus une défense utile contre les pertes d'eau.

Le remède à ces dégradations, appliqué au canal Villoresi, consiste en un rejointoiement général au mortier. Après avoir soigneusement nettoyé, puis lavé à grandes eaux les surfaces à réparer, on y projette avec force du mortier hydraulique presque liquide qui pénètre dans les interstices des galets et les remplit complètement. La consommation de mortier est de 0^m,05 et la dépense de 1 franc par mètre superficiel ainsi rebouché.

Bien que ces revêtements à joints bouchés puissent donner des résultats

assez satisfaisants, dans certaines conditions propices, il est à noter qu'un canal de Villoresi les dégradations, au bout de cinq ans, ont été reconnues assez importantes pour conduire à l'abandon du système et à l'adoption des pavages à bain de mortier.

Ce dernier mode de revêtement est très-usité dans la haute Italie. En Lombardie, les berges du « Naviglio grande » en sont couvertes sur une longueur d'environ 80 kilomètres; celles du canal Bereguardo sur 20 kilomètres. On l'a adopté pareillement au canal navigable de Pavie; à celui de Martesana, à celui de Villoresi, etc. On en trouve aussi d'importantes applications dans la province de Vérone et dans l'« Agro Pisano ». Il est donc utile d'en parler avec quelques développements.

Sur le canal Villoresi et sur un grand nombre d'autres canaux lombards, le pavage à bain de mortier, avec pavés oblongs, de forme régulière, d'une longueur comprise entre 0^m,15 et 0^m,20, est posé sur le sol, préalablement décapé dans la mesure nécessaire pour rétablir, après exécution du revêtement, le profil normal prescrit. Les pavés sont entièrement baignés dans le mortier, qui ne laisse entre eux aucun vide et qui forme en outre au-dessous d'eux un lit continu d'au moins 3 centimètres. La surface est soigneusement rejointoyée et lissée à la truelle en suivant nettement le contour de chaque pavé. L'épaisseur totale du revêtement, lit de mortier compris, ne doit être, en aucun point, inférieure à 20 centimètres.

Dans les pavages exécutés avant l'ouverture du canal de Villoresi, on a employé généralement un mortier contenant 200 kilogrammes de chaux de Casale en mottes par mètre cube de sable. On a adopté par la suite un mortier plus gras, dosé à raison de 400 kilogrammes de chaux hydraulique de Palazzolo par mètre cube de sable. Le mètre superficiel de pavage de 0^m,20 d'épaisseur, établi dans ces conditions, a absorbé en moyenne 0^m,075 de mortier et a coûté 1 fr. 90 avec la chaux de Casale, 2 fr. 30 avec la chaux de Palazzolo. Le sable et les galets provenaient, tantôt des déblais mêmes du canal, tantôt de carrières ouvertes dans le voisinage. Dans la substitution du pavage à bain de mortier, avec chaux de Palazzolo, au pavage simplement abreuvé du premier système, la dépense par mètre superficiel s'est trouvée réduite à 1 fr. 55 par suite du réemploi des galets qui étaient entrés dans le premier ouvrage.

Dans les substitutions faites au printemps de 1891, on a essayé l'emploi d'un mortier mélangé de chaux de Palazzolo et de ciment de Casale, genre Portland. La dépense par mètre carré a été dans ce cas 1 fr. 87 avec trois parties de chaux pour une de ciment et de 1 fr. 96 avec deux parties de chaux pour une de ciment.

Tous ces prix comprennent les travaux de déblaiement et de remblaiement, le fonçage des puisards, l'installation des pompes, la fourniture des matériaux et toutes les opérations accessoires que la parfaite exécution de l'ouvrage peut comporter; ils comprennent aussi les frais de surveillance et de direction.

Les prix des revêtements exécutés après l'ouverture du canal comprennent les dépenses d'expropriation pour ouverture des carrières de sable ou de galets et les frais d'acquisition du ciment ajouté à la chaux.

Ces revêtements, appliqués sur environ 16 kilomètres de longueur de berges, ont donné des résultats très-satisfaisants. Les expériences faites en juillet 1891 établissent que les pertes d'eau, qui s'élevaient primitivement au chiffre énorme de 20 p. 100 du débit à l'origine, ont été réduites, après le revêtement à bain de mortier, à 7,57 p. 100, soit à 2^m,70 par seconde, pour une longueur de canal de 16352 mètres. La quantité d'eau contenue dans cette section étant de 514 275^m,13, la perte, par 1000 mètres cubes de cette quantité, a été, après le revêtement, de 5 litres 1/4 par seconde. Ce chiffre est très-inférieur à celui qu'on observe dans un grand nombre d'autres canaux ouverts à travers des terrains présentant les mêmes conditions de perméabilité, mais dont le revêtement n'a pas été l'objet des mêmes soins.

Les revêtements en pavage à bain de mortier ont aussi trouvé une application très étendue au canal qui dessert la haute campagne Véronèse. Les terrains traversés par ce canal sont tantôt des alluvions polygénées provenant d'anciennes moraines, tantôt des alluvions post-glaciaires avec conglomérats fluviaux. Le niveau des eaux souterraines est toujours inférieur au plafond et à des profondeurs variant depuis 4 jusqu'à 40 mètres, limite maxima qu'on a reconnue en certains points du canal principal. Les pertes d'eau, très importantes sur tout le parcours, allaient même, dans certaines parties, jusqu'à absorber la totalité du débit. On y a paré en recouvrant d'un pavage à bain de mortier le plafond et les berges.

Le revêtement en argile battue aurait été trop coûteux à cause de la difficulté de se procurer les matières. Il en aurait été de même d'un revêtement en béton, qui aurait d'ailleurs souffert par l'action des gelées pendant la mise à sec en hiver.

Dans le cas qui nous occupe, les pavés, longs de 15 centimètres, ont été mis en place sans interposition de terre, ni de sable; les vides ont ensuite été remplis de mortier hydraulique très liquide, composé d'une partie de chaux et de deux parties de sable fin; après quoi la surface a été recouverte d'une bouillie de chaux hydraulique plus consistante. Ce revêtement, exécuté sur plus de deux cent mille mètres carrés, a donné de très bons résultats dans les parties en déblai. Les effets en ont été satisfaisants aussi dans les parties en remblai, en ce sens que les pertes d'eau y ont été empêchées; mais l'application a été plus difficile, à cause des crevasses provoquées par le fréquent affaissement des berges.

La dépense de premier établissement a été de 80 centimes par mètre carré et l'expérience des trois années écoulées permet d'évaluer en moyenne à 2 centimes les frais d'entretien qui se bornent d'ailleurs à quelques enduits au mortier hydraulique.

Le même genre de revêtement a été adopté dans plusieurs canaux

navigables de l'Agro Pisano. La dépense a été d'environ 2 francs par mètre carré pour une épaisseur moyenne de 25 centimètres.

Sur le canal industriel de Vérone, dérivé de l'Adige, les revêtements, réduits à l'épaisseur de 15 centimètres, ont coûté 1 fr. 50.

Les bons résultats obtenus dans les divers cas précités ont déterminé l'application du système à une importante section du canal navigable de la Martesana. La largeur de ce canal est de 14 à 15 mètres; la hauteur d'eau de 1 m. 50. Les terrains traversés sont mêlés de graviers; la nappe souterraine est en moyenne à 1 m. 50 au-dessous du plafond. On n'avait pas observé de fuites proprement dites, mais une filtration lente et presque générale du lit sur une étendue de 7 kilomètres. On a résolu d'y remédier au moyen d'un revêtement de 20 centimètres dont les pavés, entourés de mortier hydraulique sur leurs faces verticales, sont en outre reconverts d'une couche plus liquide du même mortier. Le travail est maintenant achevé sur quatre kilomètres et demi. Il a coûté 2 fr. 40 par mètre carré. Les effets en sont tels que le débit se trouve augmenté de 1^{m3},50 par seconde, et ce n'est là évidemment qu'une partie du résultat sur lequel on pourra compter lorsque le revêtement aura été étendu à la totalité des 7 kilomètres.

Bien que les premières parties de ce travail remontent déjà à 6 années, aucun dégât n'a été constaté, aucune réparation n'a été nécessaire.

Revêtements en béton. — Le pavage de revêtement cesse d'être économiquement applicable dans les localités où les pavés ne se présentent pas en quantité suffisante à proximité des lieux d'emploi. C'est le cas des parties moyennes du Piémont, de la Lombardie et du Vénitien, où l'on trouve au contraire en abondance le sable et le gravier. Aussi a-t-on adopté avec avantage, dans les canaux qui traversent ces régions, le revêtement en béton, dont les applications ont été nombreuses et importantes en Italie. Une des plus récentes qu'on puisse citer a été faite au canal industriel de Vérone, dont le sol, très perméable, laissait perdre une grande quantité d'eau. On a revêtu le plafond de ce canal et la partie normalement mouillée des talus, jusqu'à la première banquette, c'est-à-dire jusqu'à 2 m. 40 au-dessus du plafond, d'une couche de béton de 30 centimètres d'épaisseur. La partie supérieure du talus a été recouverte d'une maçonnerie de petits galets posés sur un lit de mortier hydraulique et garnis du même mortier.

La préférence pour le béton, dans la partie mouillée de la cuvette, a été commandée, d'abord, par la rencontre en abondance des matières premières, sable et petit gravier, sur toute la longueur des tronçons à revêtir, ensuite par la conviction qu'un béton bien confectionné constitue le revêtement le plus résistant et le moins perméable. Le pavage au-dessus du plan d'eau a été adopté par raison d'économie.

Le béton dont il vient d'être parlé était composé de 0^{m3},90 de gravier et de 45 centimètres de mortier contenant, par mètre cube de sable,

400 kilog. de chaux hydraulique de Bergame. Le gravier et le sable étaient pris dans les meilleurs bancs et purgés de toutes matières hétérogènes. Le béton était fabriqué à pied d'œuvre et mis en place par petites sections de 4 à 5 mètres de longueur. L'application en était faite directement sur le sol vierge dans les parties en déblai, et sur le terrain graveleux, bien battu, dans les parties en remblai. Le béton lui-même, répandu par couches, était uniformément battu, jusqu'à ce que la chaux liquide suintât à la surface, au moyen d'une dame plate ou arrondie, selon que les surfaces étaient planes ou courbes.

Le revêtement en béton du plafond et des berges a coûté 10 francs par mètre cube, soit environ 5 francs par mètre superficiel, y compris un enduit en mortier hydraulique, fait avec des matériaux de choix.

L'effet obtenu a été des plus satisfaisants, au triple point de vue de l'étanchéité, de la résistance et de la durée.

L'entretien est insignifiant. Il se réduit à reboucher et à enduire les quelques parties que la gelée a pu altérer. L'hiver si rigoureux de 1890-91 n'a laissé de trace que sur quelques points alternativement mouillés et découverts. On procède aux réparations une seule fois par an, au printemps. La dépense annuelle varie de 2 à 5 centimes par mètre carré.

Le revêtement en béton, tantôt des berges seules, tantôt des berges et du plafond, a été avantageusement appliqué au canal Quintino Salla, province de Novare. Dans le cas des berges seules, le revêtement a 25 centimètres d'épaisseur à la base, 15 centimètres à la partie supérieure, et vient buter à son pied contre un socle de 55 centimètres de largeur sur 40 centimètres de hauteur. La consommation de béton a été de 0^m³,41 par mètre courant de canal, la dépense de 2 fr. 50 par mètre carré de revêtement, y compris la quote-part du socle. Dans les parties où le plafond est aussi revêtu d'une couche de 50 centimètres sur 5^m,50 de largeur, la dépense moyenne par mètre carré, tant du plafond que des berges, a été de 2 fr. 90.

Les frais annuels d'entretien s'élèvent à 0 fr. 08 par mètre carré.

Pour diminuer encore ces frais et assurer une plus longue durée des ouvrages, on a recouvert récemment le béton des berges d'un enduit en mortier de ciment dont le prix a été de 0 fr. 60 par mètre de parement vu.

On a également construit des radiers en béton de 0^m,25 à 0^m,50 d'épaisseur sur divers tronçons d'un certain nombre de canaux de l'Agro Pisano. Le mortier est avec chaux hydraulique de San Giuliano. La dépense s'est élevée à 2 fr. 50 par mètre carré.

Mais l'application la plus étendue de ce système de revêtement vient d'être faite au canal de Villoresi, entre les kilomètres 16 et 64, c'est-à-dire sur une section d'environ 48 kilomètres, où dominaient le sable et le gravier. On a pris dans ce cas des dispositions spéciales pour mettre le béton à l'abri des gelées. On a déblayé à cet effet le plafond et les talus sur

une épaisseur de 0^m,50 au-delà du profil définitif. On a appliqué, sur les parois de la fouille ainsi approfondie et élargie, un revêtement en béton de 0^m,20 d'épaisseur, qu'on a ensuite recouvert d'une couche de terre de 0^m,50 profilée suivant le périmètre de la envette. La longueur à revêtir était divisée en tronçons qu'on attaquait successivement, on préparait d'abord la forme du revêtement sur la moitié du périmètre, c'est-à-dire sur l'un des talus et sur la moitié contiguë du plafond. Les déblais provenant de cette première partie du lit étaient retroussés en regard sur la seconde. Le fond de la demi-forme était soigneusement dressé, régalé, purgé au râteau des cailloux dont le diamètre dépassait 5 centimètres, puis recouvert de la couche de béton. On rejetait ensuite, sur le béton terminé de la première moitié, les terres précédemment retroussées sur la seconde et les déblais de celle-ci. On complétait le revêtement en béton, et les terres provenant de la forme étaient, après triage des gros cailloux, régalées à la pelle et damées sur le béton, en suivant le profil de la envette.

Le répandage du béton sur le plafond était guidé par un système de trois règles assemblées, dont l'une était placée sur l'axe du canal, au fond de la fouille, les deux autres, normales à la première, allant de l'axe au talus. Les faces verticales de ces règles avaient une hauteur égale à l'épaisseur de la couche de béton. Une quatrième règle mobile servait de calibre. Elle présentait deux saillies extrêmes, glissant librement sur les bords supérieurs des deux règles fixes parallèles et descendait verticalement jusqu'aux bords inférieurs de celles-ci. Elle devait donc affleurer le sol exactement lorsque le fond de la forme était bien dressé.

C'est après avoir vérifié cette condition qu'on jetait dans le cadre fixe une couche de béton arasée un peu au-dessus des bords supérieurs. Dans les berges, la forme était considérée comme mise à point lorsqu'une règle de largeur égale à l'épaisseur du béton, déplacée verticalement suivant la ligne de plus grande pente du talus, avait son bord supérieur constamment situé dans un plan déterminé par deux réglettes fixes servant de repères.

Le béton était régulièrement répandu à la pelle et la couche était surélevée dans la mesure nécessaire pour obtenir exactement l'épaisseur prescrite après damage. On procédait ensuite aux opérations suivantes :

- (a). Battage léger, effectué à la volée avec une dame en bois ;
- (b). Deux battages vigoureux, avec une semelle ferrée en cuir, de 0^m,015 d'épaisseur, continués jusqu'à faire refluer une couche de mortier liquide de 10 millimètres ;

(c). Lissage à la truelle avec addition de la quantité de mortier liquide nécessaire pour égaliser la surface et tamisage de ciment à prise lente.

Le béton était composé de 0^m,70 de gravier, 0^m,50 de sable et 0^m,20 de chaux de Casale en pâte, équivalant à 125 kilogrammes de chaux en mottes.

On a plus tard substitué à la chaux de Casale celle de Palazzolo, à raison de 200 kilogrammes pour les mêmes quantités de sable et de gravier.

L'extinction de la chaux ne devait pas remonter à plus de cinq jours. Le gravier était lavé à grandes eaux sur des cribles. Le sable, bien grenu, provenait des meilleurs bancs de la carrière.

Les revêtements exécutés dans les sections à revers de coteau, avant l'ouverture du canal, ont donné lieu aux dépenses suivantes par mètre carré :

ÉPAISSEUR DU REVÊTEMENT.	AVEC CHAUX	
	DE CASALE.	DE PALAZZOLO.
m.	Fr.	Fr.
0.10	1.58	1.88
0.15	2.05	2.50
0.20	2.52	5.12

On exécute présentement, dans les parties en plaine du même canal, des revêtements de béton pour lesquels on emploie couramment la chaux de Casale et, par exception, celle de Palazzolo. Ces revêtements ont 0^m,15 d'épaisseur et coûtent 1 fr. 79 entre les kilomètres 16 et 45; ils ont 0^m,10 d'épaisseur et coûtent 1 fr. 57 entre les kilomètres 45 et 64.

Les cailloux et le gravier proviennent, pour la plus grande partie, des déblais de la forme; le sable est extrait, tout à côté du canal, de carrières distantes les unes des autres de 2 à 5 kilomètres et comportant une découverte préalable d'au moins 5 mètres de hauteur.

La société du canal de Villoresi a fait, au mois de juillet 1891, des expériences destinées à la renseigner sur les résultats produits par ce mode de revêtement. Ces expériences ont porté sur la section comprise entre les points kilométriques 16 552 et 45 120. Le plafond était alors complètement revêtu; les berges ne l'étaient encore que sur une longueur de 5 918 mètres. Les pertes d'eau qui étaient, dans cette section, de 55 pour 100 avec la cuvette non revêtue, ont été, pendant les expériences, de 6^m5,95 par seconde pour un débit de 52^m5,95 jaugé au point 16^{km},552; elles sont par conséquent réduites à 21,10 pour 100. Le volume d'eau contenu dans la section considérée étant de 785 554^m3, la perte par 1000 mètres cubes de ce volume et par seconde est de $\frac{6^m,95 \times 1000^m}{785\,554^m}$ soit de 8^h1,87 par seconde. Ces conditions seront encore très améliorées par le complet revêtement des berges.

Comparaison des revêtements en pavage et en béton. — La préférence que l'on donne, suivant les cas, au pavage à bain de mortier ou au béton, dépend surtout de la nature des matériaux (galet ou sable et gravier) que l'on trouve en abondance sur place. Les ingénieurs s'accordent toutefois à reconnaître que, toutes choses égales d'ailleurs, le pavage à bain de mor-

tier doit être préféré, comme moins sujet à l'action des gelées, dans les canaux qu'on a coutume de mettre à sec en hiver. L'entretien de ce payage consiste uniquement à en rejointoyer la surface; le béton, au contraire, peut être atteint jusqu'à d'assez grandes profondeurs et la réparation en devient alors coûteuse.

Par contre, le béton est incomparablement moins perméable à l'eau que le pavage; il peut d'ailleurs être mis à l'abri des gelées et des avaries accidentelles par le revêtement en terre adopté au canal de Villoresi.

Il convient enfin d'avoir égard, dans le choix du système, à la nature des eaux que le canal doit débiter. S'il est vrai, en effet, comme certaines observations récentes semblent l'établir que les eaux très pures, ou légèrement alcalines, attaquent à la longue les mortiers, même les plus hydrauliques, et finissent par leur faire perdre toute cohésion, on devra donner la préférence au pavage lorsque l'alimentation sera faite avec des eaux de cette qualité.

Revêtements en maçonnerie. — Il nous reste à parler des muraillements, soit en pierre sèche jointoyée au mortier, soit en maçonnerie avec mortier. On en peut citer d'importantes applications dans les canaux navigables de Lombardie et dans divers autres canaux à écoulement rapide, de construction relativement ancienne.

C'est ainsi que le grand canal navigable de Milan, sur un parcours de 40 kilomètres, et le canal navigable de Bereguardo, sur 14 kilomètres, sont revêtus, tantôt de murs en galets avec tablettes de granit interposées, tantôt de murs en moellons. Les berges du canal navigable de Pavie sont bordées, sur 49 kilomètres, de murs en briques et mortier, tantôt verticaux, tantôt avec un certain fruit. Les revêtements, sur les autres parties du tracé, sont en murs à sec de galets ou de blocs de poudingue équarris et jointoyés. Le canal navigable de Paderno et le canal de Martesana sont bordés de murs en pierre et mortier, à parements verticaux, le premier sur 3 718 mètres, le second sur 25 kilomètres environ.

On trouve aussi des murs de revêtement sur plusieurs canaux navigables de la province de Padoue, sur certains tronçons des canaux navigables de Modène et de Bologne et sur un grand nombre de canaux du Piémont, dérivés de la Dora Baltea, de la Riparia et du Sangone. Les sections ainsi revêtues mesurent 20 kilomètres pour le seul canal d'Ivrée et 25 kilomètres pour l'ensemble des autres canaux piémontais.

Tous ces travaux sont déjà anciens et les données manquent pour en faire l'évaluation. On est, au contraire, exactement renseigné sur le prix des ouvrages de construction plus récente. Au canal Depretis, dérivé du canal Cavour, des revêtements en maçonnerie de briques, avec mortier hydraulique, ont été exécutés dans la région d'amont sur une longueur de 2 800 mètres. Le prix de revient a été de 22 francs par mètre cube pour les berges et de 25 francs pour le plafond, sur lequel la maçonnerie est disposée en arête de poisson. Au canal d'Ivrée, on refait en ce moment diverses

parties de murs des berges. Les nouveaux murs sont en maçonnerie de blocage avec mortier hydraulique. Leur épaisseur est de 60 centimètres. La dépense est de 9 fr. 10 par mètre cube, soit 5 fr. 40 par mètre carré. Sur les autres canaux du Piémont, les revêtements en maçonnerie coûtent de 9 à 10 francs par mètre cube, soit environ 4 à 5 francs par mètre carré, selon que l'épaisseur est de 40 ou 50 centimètres.

L'entretien de ces revêtements est presque toujours sans importance et se réduit à garnir les joints de mortier. La dépense annuelle ne dépasse pas 8 à 10 centimes par mètre carré.

Sur quelques canaux navigables de l'Agro Pisano, les berges sont protégées, soit par des perrés en pierres sèches, avec joints en mortier sur le parement, soit par des murs en maçonnerie de moellons.

Les premiers ont 40 centimètres d'épaisseur et s'appuient sur les talus inclinés à 1 de base pour 2 de hauteur. Les joints extérieurs sont remplis avec soin de mortier au jet, puis rebouchés. La dépense est de 2 fr. 50 environ par mètre carré.

Les murs maçonnés au mortier ont ordinairement 40 centimètres d'épaisseur au couronnement, avec parement vertical du côté des terres et fruit de 1/6^e sur le parement extérieur. Leur prix de revient varie entre 4 fr. 50 et 5 fr. par mètre carré. L'entretien consiste en un rejointoiement superficiel, tous les 5 ou 6 ans au plus. Cette opération coûte 50 centimes par mètre carré. Lorsque le rejointoiement doit être précédé d'un garnissage des joints, par jet de mortier, la dépense s'élève à 1 franc.

Ces revêtements au moyen de murs à sec ou maçonnés ont l'avantage de bien déterminer la section du canal, d'éviter les fréquentes délimitations de berges, les empiétements des riverains, et de procurer une bonne assiette aux chemins de halage. Mais les frais élevés de premier établissement en doivent faire limiter l'application aux localités où les matériaux et la main-d'œuvre sont à bas prix.

IV. — Conclusions.

En résumé, mettant de côté les systèmes de peu d'importance ou peu recommandables, on peut dire que quatre principaux systèmes sont à présent employés avec succès en Italie pour rendre imperméables les lits des canaux découverts :

1° *Etanchement par les eaux troubles.* — Le limon que ces eaux tiennent en suspension, se déposant lentement sur le plafond et sur les talus, finit par obturer les interstices du terrain à travers lequel les filtrations se produisent tout d'abord. Ce procédé est efficace lorsque les eaux d'alimentation sont abondantes et très chargées de matières terreneuses. Il ne produit son entier effet qu'au bout de trois ou quatre années. Mais cet effet

est certain, durable, et obtenu à peu de frais. Il en a été fait de nombreuses applications en Italie.

2° *Revêtement en pavage à bain de mortier.* — A recommander lorsque les envettes, mises à sec en hiver, sont exposées à la gelée. Il est fréquemment employé et avec succès. La dépense varie de 80 centimes à 2 fr. 50 par mètre carré.

5° *Revêtement en béton.* — Approprié aux canaux qu'on ne cesse pas d'alimenter pendant l'hiver. On peut d'ailleurs l'abriter contre les gelées par la superposition d'une couche de terre. Il est plus imperméable que le pavage. Son prix de revient, relativement élevé, varie entre 1 fr. 60 et 5 fr. par mètre carré pour des épaisseurs de béton comprises entre 10 et 50 centimètres; mais la dépense d'entretien est sans importance. On en fait souvent usage de nos jours.

4° *Murs de revêtement.* — Système adopté dans les canaux déjà anciens, alimentés par des eaux claires, à écoulement rapide, ce qui est le cas des premiers canaux navigables de la Lombardie et de l'Émilie. Les résultats sont excellents; mais le prix très élevé varie entre 4 fr. 50 et 5 fr. 50 par mètre carré. Ce mode de protection ne peut être recommandé aujourd'hui que dans quelques cas particuliers, lorsque le revêtement en pavage ou en béton n'est pas applicable, ou encore lorsqu'on se propose, tout à la fois, de soutenir et de rendre imperméables des berges en terrains ébouloux.

Rome, janvier 1892.

24 235. — Imprimerie Lahure, rue de Fleurus, 9, à Paris.

V^{ème} CONGRÈS INTERNATIONAL DE NAVIGATION INTÉRIEURE
PARIS 1892

4^{me} QUESTION

DES RÉSERVOIRS

DANS LES INDES ANGLAISES

RAPPORT

PAR

M. BAROIS

Secrétaire général du Ministère des travaux publics, au Caire

PARIS

IMPRIMERIE GÉNÉRALE LAHURE

9, RUE DE FLEURUS, 9

1892

DES RÉSERVOIRS

DANS LES INDES ANGLAISES¹

RAPPORT

PAR

M. BAROIS

Secrétaire général du Ministère des travaux publics, au Caire.

Régime des eaux.

Quoique dans toutes les régions de l'Indoustan il y ait une saison humide et une saison très sèche, le régime des pluies et des rivières y est très variable d'un point à un autre; il en est de même, depuis les temps les plus anciens, des procédés employés par les populations pour se procurer l'eau nécessaire à l'irrigation de leurs terres.

Tout l'ensemble de cette contrée est soumis à l'influence de la mousson du S.-O., qui commence à se faire sentir à peu près vers le mois de juin et qui amène les pluies. Mais celles-ci sont réparties très inégalement sur la surface du pays; elles sont en général plus abondantes et durent plus longtemps dans le nord que dans le sud ou dans le centre de la Péninsule; dans quelques parties, comme dans le Deccan, certains districts du Punjab, et d'autres encore, elles sont rares et ne se produisent que pendant un temps très court quoiqu'elles y soient parfois très violentes. Ainsi, dans les plaines du Punjab, il ne tombe annuellement que 0 m. 56 de hauteur de pluie, sur les plateaux du Deccan 0 m. 68, dans la province de Madras et dans les plaines supérieures du Gange 0 m. 90, tandis qu'au pied de l'Himalaya orientale ou des Ghâts, on en constate 3 m. 60, à Fenasserim 4 m. 30, et à Arakan 4 m. 80.

D'autre part, dans l'Inde supérieure, les rivières étant alimentées au printemps, avant la mousson, par la fonte des neiges et des glaciers, ont

1. Beaucoup de renseignements ayant servi à la rédaction de ce rapport ont été puisés dans les ouvrages suivants : *Irrigation Works in India*, par le colonel F.-H. Ruvvall; *Irrigation Manual* (Madras), par le lieutenant général J. Mullins; *Thomason civil engineering college manuals*.

de l'eau toute l'année; au contraire, dans l'Inde méridionale, la plupart des rivières, moins longues et ne recevant que l'eau de la mousson, n'ont pas, pendant plusieurs mois de l'année, un débit suffisant pour les besoins de l'irrigation.

Aussi, dans toute la vallée du Gange et dans les vallées tributaires, on se contente d'établir sur les grandes rivières des barrages de distribution pour relever le niveau des eaux et assurer aux canaux une alimentation aussi régulière que possible, tandis que dans les provinces centrales on est obligé d'emmagasiner pendant la saison humide les eaux qui doivent être répandues sur la terre pendant la saison sèche.

Considérations générales sur les réservoirs.

C'est surtout dans la province de Madras et dans la province de Bombay, notamment dans le Deccan, que le système des réservoirs est le plus répandu. On en trouve également des exemples sur quelques points accidentés de l'Inde centrale où l'écoulement de l'eau est si rapide, que les pluies ne sont que d'une utilité médiocre pour l'agriculture au moment même où elles se produisent.

Ces réservoirs sont généralement construits dans un but agricole, parfois pour l'alimentation des villes et des villages. Le plus souvent les réservoirs d'irrigation sont employés à la culture des terrains situés dans leur voisinage immédiat, mais dans certains cas ils fournissent de l'eau à des canaux plus ou moins longs, dont quelques-uns sont navigables.

La région de Madras est tout à fait caractéristique de l'usage des réservoirs; depuis des temps immémoriaux, les Indous ont ainsi emmagasiné les eaux. Il y a dans cette province plus de 50 000 réservoirs dont les digues ont ensemble plus de 50 000 kilomètres de longueur, et qui possèdent au moins 300 000 ouvrages en maçonnerie.

Ces réservoirs ont des dimensions très différentes, mais le plus grand nombre n'a qu'une très faible capacité. Rien ne peut mieux donner une idée de ce système d'emmagasinement fractionné des eaux, que la statistique ci-dessous relative à un district de cette région.

Le district de North Arcot contient 5 297 réservoirs dont :

981	arrosent moins de	. . . . .	4 hectares.
506	—	. . . . .	4 à 8 —
544	—	. . . . .	12 à 16 —
193	—	. . . . .	16 à 20 —
553	—	. . . . .	20 à 40 —
573	—	. . . . .	40 à 80 —
106	—	. . . . .	80 à 200 —
17	—	. . . . .	200 à 400 —
4	arrosent plus de	. . . . .	400 —

La grande quantité et la petitesse de beaucoup de ces réservoirs ont amené le gouvernement indien à les diviser en deux classes : les réservoirs impériaux qui seuls ressortissent au service des Travaux publics, et les petits réservoirs qui relèvent des autorités locales.

Un très grand nombre des réservoirs de l'Inde sont de très anciens ouvrages que les ingénieurs modernes ont eu à perfectionner, à consolider ou à compléter ; mais cependant il en existe quelques-uns de très beaux, spécialement dans la province de Bombay, qui sont de construction récente.

Canaux servant de réservoirs.

Parfois les rivières n'ont pas, pendant la saison d'irrigation, un débit permanent suffisant pour alimenter d'une façon normale les canaux qui en dérivent, mais cependant elles sont grossies de temps en temps et à des intervalles assez rapprochés par de petites crues passagères. Dans ce cas, les canaux eux-mêmes sont disposés de façon à emmagasiner pendant la durée des petites crues un surplus d'eau qu'ils déversent ensuite sur les terres quand la rivière baisse. Mais cela ne peut se faire que lorsque les crues sont assez rapprochées les unes des autres pour qu'on ne soit pas obligé de donner au canal des dimensions tout à fait hors de proportions avec celles qui conviennent à son débit moyen. Cette ressource est donc, en somme, assez limitée, et, si un cours d'eau dont le débit ordinaire est inférieur aux besoins a des crues trop espacées, c'est à la construction des réservoirs qu'on a recours pour suppléer à cette insuffisance.

Réservoirs échelonnés, leur alimentation.

Tantôt les réservoirs sont isolés, c'est-à-dire qu'ils sont tout à fait indépendants des réservoirs voisins tant pour leur alimentation que pour le déversement de leur trop-plein ; tantôt ils sont échelonnés par séries le long d'une même vallée, chacun d'eux commençant à l'endroit où cessent les cultures faites avec l'aide du réservoir supérieur ; alors l'alimentation d'un réservoir se compose d'abord du produit de son propre bassin de réception, et ensuite, du trop-plein des réservoirs supérieurs ; c'est le cas ordinaire dans la province de Madras.

Certains réservoirs isolés sont alimentés uniquement par les pluies qui tombent dans leur bassin de réception ; d'autres reçoivent, en outre, l'eau de canaux dérivés de rivières ou de torrents voisins.

Volume d'eau de pluie arrivant avec réservoirs.

Deux questions primordiales dominent l'établissement d'un réservoir d'irrigation ; d'une part, quel est le volume d'eau que les circonstances

locales permettent de recueillir et d'emmagasiner? D'autre part, quel est le volume d'eau nécessaire aux terres que l'on se propose d'arroser? De la détermination de ces deux éléments résulte, en effet, la dimension des ouvrages qui constituent le réservoir.

Dans la province de Madras, où se rencontrent de nombreux réservoirs très rapprochés les uns des autres, où l'on est souvent obligé, soit d'en construire de nouveaux dans des régions où il en existe déjà, soit d'en modifier ou réparer d'autres plus ou moins anciens, la nécessité de simplifier les recherches dans chaque cas particulier a conduit certains ingénieurs à établir des formules pour calculer le produit annuel d'un bassin de réception, connaissant sa superficie et ses caractères généraux topographiques et climatiques.

Le lieutenant général Mullins, dans un récent ouvrage intitulé « Irrigation Manual », cite deux de ces formules qui sont d'une forme très simple : l'une, celle de Ryve, est :

$$D = c \sqrt[3]{M^2}$$

et l'autre, celle de Dickens :

$$D = c \sqrt{M^3}$$

dans lesquelles D est le produit du bassin, M la surface du bassin, et c un coefficient dépendant de la pluie, de la nature du sol, des pentes du terrain, etc.

Une fois que le coefficient a été déterminé pour certains points d'après quelques données expérimentales, telles que des observations pluviométriques combinées avec le mesurage du débit de cours d'eau plus ou moins importants, les formules précédentes peuvent, sinon servir de point de départ absolu pour l'étude des grands ouvrages, au moins donner des indications utiles dans beaucoup de cas; mais il faut évidemment, avant de s'en servir, se rendre un compte exact des limites dans lesquelles une valeur du coefficient est applicable, car les circonstances locales qui modifient ce coefficient peuvent différer beaucoup dans l'étendue d'une même vallée. Ainsi, par exemple, dans le district de Cuddapah situé dans le bassin de la rivière Pendaïr, province de Madras, la hauteur de pluie annuelle, qui est de 4 m. en certains points, n'est que de 0 m. 60 dans d'autres localités; dans ces conditions, le coefficient c de la formule de Dickens varierait, d'après les chiffres établis par le col. Moberly, dans la proportion de 2 à 5. Les grands écarts de pluie constatés sur une superficie relativement aussi restreinte tiennent à ce que certaines parties de la vallée subissent surtout l'influence de la mousson du S.-O., tandis que les autres reçoivent principalement des pluies irrégulières d'orages.

Pour les grands réservoirs récemment construits, dans la province de Bombay, sur les hautes vallées qui forment le versant oriental des Ghâts

occidentales, on admet en général que le quart de la hauteur annuelle de pluie tombant dans le bassin arrive au réservoir.

Quantité d'eau à emmagasiner pour l'irrigation.

Les réservoirs de l'Inde étant presque tous des réservoirs d'irrigation, leur capacité est proportionnée, autant que le permettent les conditions de l'alimentation et la nécessité de la construction, aux besoins des terres à arroser, besoins très différents suivant les régions et qui sont plus difficiles à déterminer dans les provinces du Nord, à cause de la variété des cultures qu'on y pratique, que dans les provinces méridionales, où le riz domine presque exclusivement.

Pour les canaux du Nord, on calcule actuellement un débit continu par seconde, de 0 lit. 700 à 1 lit. 250 par hectare de culture d'été (coton, canne à sucre, indigo, etc.), et de 0 lit. 550 à 0 lit. 450 par hectare de culture d'hiver (céréales, etc.).

A Fanjore, on compte 1 lit. 750 de débit continu pour un hectare de rizière.

Dans le calcul des réservoirs, on admet souvent, à Madras, qu'il faut 9 000 mètres cubes d'eau pour arroser un hectare pendant une année; mais, en tenant compte de l'évaporation, qui peut atteindre 2 mètres par an, cela représente 14 à 15 000 mètres cubes emmagasinés.

C'est ce dernier volume d'eau qu'on prend comme base, en général, pour la culture de riz qui se fait pendant les 5 mois de la mousson; mais, quand les réservoirs renferment une provision d'eau pour deux années, le volume d'eau à emmagasiner, pour être employé l'année suivante, est de 58 000 mètres cubes par hectare.

Pour les cultures de riz, qui se font après la mousson et qui ne durent que 3 mois, il suffit de 12 000 mètres cubes.

Ces chiffres montrent quelle surface énorme occupent, par rapport aux terres qu'ils arrosent, les nombreux petits réservoirs de la présidence de Madras dont la profondeur est en général peu considérable.

Il se peut d'ailleurs que les pluies surviennent pendant la saison des irrigations et que le réservoir se remplisse plusieurs fois partiellement pendant cette période, ce qui diminue d'autant la quantité d'eau à emmagasiner.

Emplacements des réservoirs.

Quand il s'agit de réservoirs échelonnés, dans la province de Mysore, par exemple, où ils sont groupés par séries de vingt et même plus le long d'un torrent et de ses affluents, et où ils ne laissent entre eux que l'espace de terrain que chacun d'eux peut arroser, la principale préoccupation est de ne laisser échapper aucune goutte d'eau pouvant être utilisée pour l'ir-

rigation. Dans ce cas-là, l'emplacement des divers réservoirs est surtout choisi de façon que, lorsqu'un d'entre eux est plein, l'eau s'écoule dans un autre et ainsi de suite.

Mais, en général, le site le plus recherché pour un réservoir est un vaste bassin s'étendant en amont d'une gorge rocheuse. Beaucoup de réservoirs sont établis dans ces conditions et quelques-uns dans une position exceptionnellement avantageuse. Ainsi, le réservoir de Cummun, district de Guntoor, qui a 2 000 hectares de superficie et dont la digue, haute de plus de 50 mètres, ferme une gorge de 90 mètres de largeur; la digue est en terre avec talus inclinés à 2 de base pour 1 de hauteur; le talus intérieur est revêtu d'un fort perré; ce réservoir contient assez d'eau pour arroser pendant deux saisons le territoire qui en dépend. On peut encore citer, dans le district de Mysore, le réservoir de Nuggar, dont le pourtour a 64 kilomètres de développement et dont la digue n'a que 300 mètres de longueur; cette digue a une hauteur maximum de 25 m. 60 et un empâtement à la base de 180 mètres. Dans le même district, sur un affluent de la rivière Lokain, est un autre grand réservoir dont la digue barre un défilé qui n'a que 69 mètres; la hauteur de cette digue atteint 37 m. 50 et sa base a une largeur de 120 mètres environ.

Faute de rencontrer un emplacement aussi favorable, on a souvent établi des réservoirs sur des plateaux un peu ondulés ayant des pentes de 1 m. 50 à 2 mètres par kilomètre, et, alors surtout, on cherche à suppléer à l'insuffisance ou à l'incertitude de l'alimentation directe au moyen de dérivations des cours d'eau voisins.

Les réservoirs ainsi disposés ont en général des digues longues et peu élevées. Dans cette catégorie rentrent les grands réservoirs suivants :

Le réservoir de Chembraumbaukum, près de Madras, dont il sera question ci-après.

Le réservoir de Veeranum, dans le district de South Arcot, alimenté par un canal dérivé du Coloroon, bras du fleuve Cauvery. La digue de ce réservoir a 20 kilomètres de longueur et 6 mètres de hauteur maximum. Sa superficie est d'au moins 8 000 hectares et sa capacité de 80 000 000 de mètres cubes.

Les réservoirs de Red Hill's lakes, qui fournissent d'eau potable la ville de Madras. Ils comprennent deux bassins : l'un, plus élevé, alimenté par un canal; le second, à un niveau plus bas, alimenté par le trop-plein du premier et par un bassin spécial de réception. Ces ouvrages, établis par les indigènes, ont été beaucoup agrandis par les ingénieurs anglais, qui ont construit un barrage et un ouvrage de prise en tête du canal d'alimentation. La digue a plusieurs kilomètres de longueur; la profondeur maximum est de 6 à 7 mètres; la surface mouillée a 2 500 hectares; le contenu est de 75 000 000 de mètres cubes et les déversoirs ont en tout 120 mètres environ de longueur.

Digues des réservoirs.

Presque toutes les digues des réservoirs des Indes sont construites en terre; quelques-unes sont en maçonnerie; d'autres sont partie en maçonnerie, partie en terre; elles sont formées, dans ce dernier cas, par un mur maçonné ayant une section plus ou moins analogue à un mur de quai et appuyé à l'extérieur contre un fort massif de terre.

Revanche des digues.

Le colonel Rundall, qui s'est occupé longtemps d'irrigation dans les Indes, dit qu'il n'a jamais vu d'accident survenu à un réservoir par pression hydrostatique, mais souvent parce que le niveau de l'eau a dépassé la crête des digues. Aussi, pour parer à ce danger, on prend dans les nouveaux réservoirs toutes précautions pour fixer exactement, par rapport à la retenue normale, le niveau maximum des eaux, c'est-à-dire le niveau maximum de déversement du trop-plein. La différence entre ces deux niveaux est ordinairement faible, 0 m. 50 à 1 mètre; toutefois, dans les grands réservoirs, on admet assez souvent une différence de 1 m. 50 et même plus. Dans le réservoir d'Ekrak, province de Bombay, elle est de 5 mètres. Ces chiffres dépendent des circonstances locales, de la longueur disponible pour les déversoirs; ils sont naturellement plus élevés quand les réservoirs servent aussi de modérateurs pour les crues.

Quant à la revanche de la digue au-dessus des plus hautes eaux de déversement, elle est variable avec la profondeur et les dimensions du réservoir, le débit du déversoir, etc. Certains ingénieurs demandent qu'elle soit au moins égale à la différence entre le niveau de la retenue et celui des plus hautes eaux de déversement; dans les grands réservoirs de la province de Bombay, elle est de 2 mètres environ; dans les réservoirs ordinaires de la province de Madras, elle est souvent de 0 m. 50 à 1 mètre. Des ingénieurs expérimentés donnent comme règle que la revanche de la digue au-dessus de la retenue soit au moins de 2 m. 40. On se préoccupe, pour fixer cette dimension, de la direction des vents dominants; car, si ceux-ci soufflent perpendiculairement à la digue, ils poussent les vagues contre elle et il est alors prudent d'en relever un peu le couronnement, du moins au droit des parties profondes où les vagues sont les plus fortes.

Profil des digues en terre.

La crête des digues en terre, pour les réservoirs ordinaires, a au moins 3 m. 50 de largeur, et, dans les parties les plus hautes, 4 m. 80.

Pour de grands réservoirs, cette largeur est généralement plus forte, mais ne dépasse guère 5 mètres à 3 m. 50. Le colonel Rundall indique comme règle que la largeur au niveau des plus hautes eaux soit égale à la hauteur *maxima* d'eau que doit supporter la digue, et le lieutenant général Mullins demande, pour les très grands réservoirs, que la largeur de la crête soit égale au quart de la hauteur d'eau dans les parties profondes. Les dimensions résultant de l'application de ces deux règles à des digues de grande hauteur sont plus fortes que celles qui paraissent être adoptées en général et spécialement dans la province de Bombay.

La pente des talus est réglée suivant la qualité du remblai et la nature des revêtements.

Pour les talus extérieurs, cette pente varie de 1 1/2 pour 1 à 3 pour 1 ; elle est le plus souvent de 1 1/2 à 2 pour 1. Ces talus sont ou gazonnés ou plantés d'arbres, ou recouverts d'une couche de pierrailles.

Quant aux talus intérieurs, leur revêtement consiste soit en un perré, soit en un lit de pierrailles fortement damé, soit en une couche de mottes de gazon posées à plat ; soit encore, lorsque ces moyens font défaut, en fascinages de roseaux ; on se contente même parfois de protéger seulement la partie supérieure des digues avec de simples plantations d'arbres ou d'arbustes, de roseaux ou de diverses herbes des marais.

Avec de forts perrés, les talus intérieurs sont inclinés de 1/5 à 1/4 pour 1 ; avec des pierrailles, de 2 à 2 1/2 pour 1 ; avec des fascinages de roseaux, on va jusqu'à 1 à 1/2 pour 1 ; avec de simples plantations, on adopte au moins 2 pour 1 dans la partie supérieure, afin que la largeur de la plantation soit assez grande pour amortir l'effet des vagues.

Revêtement des digues.

Lorsque les pierres employées pour les revêtements sont de forme régulière, de longueur convenable et d'épaisseur égale, on les dispose en escaliers (fig. 1) ; on a ainsi une surface rugueuse qui est très bonne. Quand les pierres sont longues, plates, mais d'épaisseur inégale, on les pose en lignes horizontales avec les joints perpendiculaires aux talus (fig. 2), et, si les pierres sont irrégulières, on fait le perré à joints de hasard, avec des cours de pierres en saillie de distance en distance (fig. 5). Dans tous les cas, les pierres reposent sur une couche de sable et de pierrailles, fortement pilonnée.

Pour les grands réservoirs, les perrés ont des épaisseurs variant de 60 centimètres à 1 m. 20, et ils sont formés, autant que possible, de gros matériaux.

Un revêtement en fascines et plantations de « nanel » (sorte de roseau) est une défense excellente pour les talus, quand le sol est bon pour cette

plante. Ce mode de protection, très particulier, s'exécute de la manière suivante (fig. 4) : on prend des roseaux hauts de 1 m. 80 à 2 mètres, bien souples, qu'on pose à côté les uns des autres, de façon à en former un lit de 2 m. 70 à 3 mètres de longueur; sur cette première couche, on en met une seconde, en travers, qu'on saupoudre d'un peu de terre, puis on fait du tout une fascine de 15 centimètres environ de diamètre, en laissant déborder perpendiculairement au rouleau les extrémités des roseaux qui en forment l'enveloppe. On range ces fascines horizontalement le long du talus, en ayant soin que les bouts de tiges restés libres soient placés horizontalement à l'intérieur du remblai; la digue est montée en même temps que le revêtement. Si on arrose bien ce revêtement, il se couvre bientôt de pousses très serrées de « nanel ». Cette espèce de roseau, qui a 3 m. 50 à 4 m. 50 de hauteur, peut rester immergée pendant un certain temps, pourvu que les extrémités des feuilles sortent toujours de l'eau; aussi se conserve-t-elle vigoureuse dans toute la partie supérieure des digues jusqu'à 1 m. 80 à 2 mètres environ au-dessous du niveau ordinaire de la retenue, ce qui est suffisant pour défendre les digues contre les vagues qui se produisent à la surface du réservoir.

Mode de construction des digues en terre.

Les digues des réservoirs sont généralement construites au couffin au moyen d'emprunts faits en amont de leur emplacement et même parfois en aval, à une certaine distance de leur pied. Elles sont tassées par le piétinement des hommes; comme leur construction dure au moins deux campagnes, les pluies de la moussou complètent le tassement.

Si les remblais employés sont trop perméables, on intercale, soit sous le perré de défense du talus intérieur, soit dans l'axe de la digue, un massif d'argile corroyée, qui doit être monté avec les plus grandes précautions pour qu'il reste toujours humide et ne se crevasse pas pendant ou après la construction.

Si le sol lui-même qui porte la digue est perméable, ce massif d'argile est descendu jusqu'au sol imperméable ou, en cas d'impossibilité, assez bas pour que les infiltrations soient aussi réduites que possible. Si même la nature du terrain ne permet pas d'éviter ainsi que les infiltrations passent sous la digue, on établit, en arrière du massif argileux, des drains transversaux et longitudinaux remplis de pierres, qui recueillent les eaux d'infiltration et les déversent à une certaine distance du pied du talus extérieur.

Toutes ces prescriptions sont loin d'avoir été observées dans la construction des réservoirs anciens, dont les digues ont, en effet, des profils et des dispositions fort irrégulières, mais elles sont appliquées dans les travaux neufs ou les restaurations récemment exécutées.

Trop-plein des petits réservoirs.

Dans les petits réservoirs pour lesquels, en raison de la modicité des bénéfices qu'ils procurent, on ne peut faire de fortes dépenses, les déversoirs sont parfois, lorsque les circonstances s'y prêtent, tout à fait rudimentaires.

Si, par exemple, aux extrémités de la digue, la surface du sol est plate et à peu près de niveau avec la retenue, on se contente d'aplanir convenablement le terrain naturel, soit à un bout, soit aux deux bouts de la digue, et on laisse le trop-plein des eaux s'écouler sur le sol même.

Parfois l'arête de cette sorte de déversoir est marquée et consolidée par une bande de pavage de 2 mètres environ de largeur; d'autres fois, elle est plantée sur une certaine longueur de roseaux qui, amortissant le courant, empêchent les eaux d'évacuation de prendre une vitesse susceptible de dégrader le terrain.

Déversoirs dits « calingulas ».

Pour des ouvrages plus importants, on a recours à des ouvrages en maçonnerie,

Dans la province de Madras, les déversoirs des anciens réservoirs se nomment « calingulas ». Ce sont des massifs de maçonnerie sur la crête desquels sont dressées des pierres verticales hautes de 60 centimètres à 2 m. 40, et écartées de 60 centimètres à 1 m. 20 l'une de l'autre. Les intervalles entre ces pierres sont bouchés avec de la terre, de la paille et des décombres, de façon à accroître la capacité du réservoir lorsque les pluies sont modérées; quand celles-ci sont fortes et que le réservoir menace de déborder, on débouche les ouvertures pour que l'eau puisse s'écouler librement. Le sommet des pierres est à un niveau tel que la crête de la digue temporaire qui s'appuie sur elles soit à peu près au niveau le plus élevé que les eaux puissent atteindre sans danger pour la digue principale. Ce système est aujourd'hui considéré comme peu recommandable, car il présente cet inconvénient que le seuil du déversoir peut n'être pas débarrassé assez rapidement au moment d'une forte crue.

Un des plus grands calingulas qui existent est celui du réservoir de Carangooly, district de Chingleput, construit il y a un certain nombre d'années par le général sir J.-L. Caldwell (fig. 5, 6 et 7). Il a, en plan, la forme de deux arcs de cercle convexes du côté du réservoir; sa longueur totale est de 220 mètres; la hauteur de chute est de 6 mètres environ, et le seuil est à 2 m. 40 au-dessous de la crête de la digue; sur 100 mètres à peu près de longueur, il est composé d'un massif de 30 mètres d'épais-

seur à la base, surmonté d'un radier qui affecte, en aval de la crête, la forme d'une cuvette de 9 m. 60 de développement, prolongée par un plan incliné de même largeur. Sur le reste de la longueur du déversoir, le talus extérieur du massif est incliné à 45° et recouvert de grosses pierres superposées en escalier. La crête porte des pierres verticales de 1 mètre de hauteur, également espacées, pour surélever temporairement le niveau de la retenue, comme il a été dit ci-dessus.

Aqueducs de fond.

Dans certains réservoirs, le trop-plein des eaux est évacué par des aqueducs de fond percés dans des murs en maçonnerie et fermés au moyen de vannes ou de madriers verticaux; de semblables aqueducs ont souvent été établis dans le massif même des calingulas, mais ils ne donnent évidemment pas au réservoir autant de sécurité que des déversoirs dont le débouché est toujours libre.

Types actuels de déversoirs.

Les types de déversoirs aujourd'hui en usage sont de diverses sortes :

Tantôt les murs de chute ont en aval de la crête un profil courbe se raccordant tangentiellement avec l'arrière-radier (fig. 8); la largeur du radier est égale à deux fois et demie la hauteur de chute et la largeur de l'arrière-radier en enrochements est au moins égale à trois fois la hauteur de chute; ce système évite le choc de l'eau contre le radier et permet l'emploi de matériaux peu résistants.

Tantôt le parement aval du mur de chute est vertical, mais un matelas d'eau, maintenu par un mur de retenue situé à une certaine distance, amortit la force de l'eau (fig. 9).

La profondeur de la cuvette est environ le tiers de la hauteur de chute comptée depuis la surface supérieure de la lame déversante; sa largeur est égale à environ deux fois la hauteur de chute et la largeur de l'arrière-radier en enrochements à deux fois cette même hauteur.

Enfin, quand on a de bons matériaux bien résistants, le déversoir est construit avec un mur de chute avec parement vertical sans cuvette d'amortissement (fig. 10). Dans ce cas, la largeur du radier maçonné est au moins égale à deux fois la hauteur de chute comptée entre la surface de l'eau et celle du radier. L'épaisseur du radier ainsi que la nature et les dimensions des matériaux employés dépendent de la hauteur de la chute; avec une chute de 5 mètres et une lame déversante de 90 centimètres d'épaisseur, on donne au moins 1m.20 d'épaisseur à un radier reposant sur un bon terrain de fondation.

Le radier du déversoir est toujours terminé par un parafouille fondé plus ou moins profondément, suivant les circonstances.

Déversoirs secondaires.

Parfois, immédiatement au-dessous du déversoir, en travers du chenal d'évacuation, est établi un second déversoir en amont duquel se trouve la prise d'un canal d'irrigation. Quand les niveaux sont convenables, c'est un bon arrangement; car, lorsque le trop-plein du réservoir fonctionne, la lame déversante peut être suffisante pour alimenter largement le canal d'irrigation dont la section est établie de façon à pouvoir contenir une certaine réserve d'eau. On utilise ainsi des eaux qui, à défaut de cette disposition, s'échapperaient sans aucun profit pour les cultures. Quand le niveau maximum est atteint dans le canal d'irrigation, l'eau s'écoule par-dessus la crête du déversoir inférieur. Cet ouvrage supplémentaire est construit comme un déversoir ordinaire.

Prises d'eau.

Dans les réservoirs de dimensions ordinaires, les prises d'eau sont de petits aqueducs en maçonnerie traversant de part en part les digues et placés, soit au niveau inférieur de la cuvette du réservoir, soit à différentes hauteurs, suivant le niveau des terres à irriguer. Ces aqueducs sont souvent couverts par des voûtes en briques ou bien ils ont une section rectangulaire avec des parements en pierres dures. En aval, ils sont terminés par une sorte de puits portant des ouvertures rectangulaires fermées par des vannes; en amont, l'aqueduc est fermé par des vannes ou par des madriers, mais la manœuvre des fermetures est difficile lorsque le niveau des eaux est un peu élevé; aussi la réglementation du débit se fait-elle souvent au moyen de bondes ou clapets obturant des orifices circulaires qui sont percés dans une pierre plate horizontale posée sur les piédroits un peu en arrière de la tête de l'aqueduc (fig. 11, 12 et 15).

Ces bondes sont d'une manœuvre simple et commode. Les ouvertures circulaires qu'elles commandent ont de 10 à 50 centimètres de diamètre; elles sont en nombre et avec des dimensions suffisantes pour alimenter toute l'irrigation desservie par l'aqueduc.

Les bondes sont en bois dur (fig. 15); elles reposent sur leur siège par l'intermédiaire de bandes en cuir; leur partie inférieure est tronc-conique. Elles sont manœuvrées au moyen de tiges en fer qui les traversent suivant leur axe et dont l'extrémité supérieure est toujours au-dessus du niveau de l'eau. Ces tiges sont maintenues dans une position verticale par des guides en pierre ou en fer placés à différentes hauteurs. A leur extrémité

supérieure, elles portent des trous régulièrement espacés qui permettent, par l'introduction d'une clavette buttant contre une pièce d'arrêt, de maintenir les bondes à plusieurs niveaux différents, de façon à dégager plus ou moins les orifices de prise suivant les besoins de l'irrigation.

Lorsque le réservoir est profond, les bondes sont actionnées au moyen de crics ou d'autres appareils.

Dans les grands réservoirs, la manœuvre des bondes se fait du haut d'une tour s'élevant au-dessus du niveau maximum des eaux et percée, à différentes hauteurs, d'orifices de prise d'eau fermés par des vannes. Dans ce cas, les aqueducs sont parfois remplacés par des tuyaux en fonte noyés dans la maçonnerie, et les bondes, qui sont alors de plus grandes dimensions que celles indiquées ci-dessus, sont en métal et sont manœuvrées avec des treuils ou autres appareils analogues. Enfin, lorsque le débit des réservoirs est considérable, les aqueducs sont remplacés par de véritables ouvrages de prise d'eau analogues à ceux qui sont établis en tête des canaux et dont la réglementation s'obtient au moyen de vannes en fer ou en bois glissant dans des rainures.

Envasement des réservoirs.

Dans les Indes, comme dans tout autre pays, l'envasement des réservoirs se produit progressivement par suite du dépôt des alluvions entraînées par les eaux. Pour remédier à cet inconvénient, on relève de temps en temps le niveau des digues et on modifie en conséquence les ouvrages de prise et les déversoirs jusqu'à ce que, à un moment donné, le fond se soit tellement exhaussé, que l'emplacement soit devenu inutilisable pour un réservoir. Parfois aussi, quand on le peut, on évacue les dépôts dans les canaux de prise, en profitant du moment où il y a peu d'eau dans le réservoir pour agiter la vase et la maintenir en suspension, pendant qu'on ouvre en grand les aqueducs de fond.

Barrages en maçonnerie.

La plupart des renseignements généraux donnés ci-dessus s'appliquent surtout aux réservoirs de dimensions moyennes, avec digues en terre, si répandus dans la province de Madras. Malgré l'usage presque exclusif des digues en terre, usage nécessité le plus souvent par les circonstances locales, il existe cependant dans les Indes des réservoirs avec digues en maçonnerie; quelques exemples intéressants ou remarquables en seront donnés ci-après, ainsi que la description sommaire de quelques grands barrages avec digues en terre.

Réservoirs spéciaux de l'Inde centrale.

Dans l'Inde centrale, on a construit, en certains endroits, de petits barrages en travers des rivières peu importantes pour maintenir en amont une certaine réserve d'eau qui, par infiltration, alimente les puits creusés pour l'irrigation dans la vallée; mais l'utilité de ces réservoirs est contestée par beaucoup d'ingénieurs. Tel est le réservoir du Kabra Nadi auprès de Nya-Nagar; il est formé par un mur en maçonnerie de 95 mètres de longueur, fondé sur le rocher, ayant 3 mètres de largeur à la base, 2m.17 en couronne et 5m.96 de hauteur; il est renforcé en amont par des contreforts à section demi-circulaire, placés de distance en distance, et ses deux extrémités sont fortement appuyées aux deux rives. Il retient l'eau dans le lit du torrent jusqu'à une distance de 1200 mètres environ. Les eaux se déversent par-dessus les murs lorsque le réservoir est plein.

Réservoirs de l'Inde supérieure.

Ainsi qu'il a déjà été dit, il y a peu de réservoirs dans l'Inde supérieure, les rivières y ayant de l'eau toute l'année; cependant, on en a construit un certain nombre dans les districts d'Ajmere et de Merwara où les indigènes en avaient introduit l'emploi depuis un temps immémorial. Dans cette région très accidentée, l'eau de pluie s'écoule rapidement, ne produisant sur les cultures qu'un effet très passager, et les pluies de la mousson tombent en quelques jours.

Ces ouvrages ont donné des résultats agricoles et financiers très satisfaisants. Sur six d'entre eux observés par le lieutenant Ilome en 1868, tous, sauf un, après avoir payé leurs dépenses d'entretien et d'exploitation, donnaient un intérêt sur le capital de construction; pour l'ensemble des six ouvrages, cet intérêt était à peu près de 5 pour 100 du capital. Il est vrai de dire que les prix de construction étaient extrêmement bas lorsque ces travaux ont été exécutés et que, dans cette région, la terre porte presque toujours deux récoltes par an avec 13500 mètres cubes d'eau d'irrigation par hectare. Voici deux exemples de ces réservoirs :

Réservoir de Kabra (fig. 14 et 15).

Le réservoir de Kabra est fermé par un mur en maçonnerie établi dans une gorge naturelle existant entre deux lignes de hauteurs; ce mur a 190 mètres de longueur; il est consolidé par trois contreforts à section demi-circulaire accolés contre le parement d'amont; sa hauteur au-dessus

du sol est de 6 mètres; le massif de fondation, large de 8 m. 10, est poussé jusqu'au rocher à 2 m. 70 de profondeur; la hauteur totale du mur est donc de 8 m. 70; sa largeur au sommet est de 3 mètres. Contre le parement extérieur est appuyée une digue en terre ayant 21 mètres d'empâtement avec une hauteur maxima de 8 m. 50 et une largeur à la crête de 6 mètres. Un mur de soutènement de 1 m. 20 à 1 m. 80 de hauteur soutient le pied aval de cette digue. Des déversoirs sont creusés aux deux extrémités du barrage dans la montagne; leur crête est à 1 m. 20 au-dessous du couronnement du barrage. La distribution de l'eau se fait au moyen d'orifices percés dans le mur des déversoirs. Ce réservoir, construit en 1857, a une superficie de 740 000 mètres carrés et contient 1 600 000 mètres cubes d'eau. Il a coûté 14 500 francs seulement. Le trop-plein de l'eau sert à remplir des réservoirs situés en aval.

Réservoir de Roopana (fig. 16, 17 et 18).

Le barrage de Roopana coupe une gorge creusée entre deux rangées de collines; il est fondé sur le rocher; il a à la base 3 m. 15 de largeur, et son épaisseur, diminuant graduellement avec la hauteur, n'est plus que de 1 mètre au sommet; sa hauteur est de 5 m. 50. Ce barrage, qui est renforcé en amont par cinq contreforts demi-circulaires, est prolongé, à une de ses extrémités, par un mur ayant 1 m. 80 à la base et 1 m. 20 au sommet, et appuyé par derrière contre une digue en terre de 9 mètres d'empâtement et de 3 m. 35 de hauteur. La longueur totale de l'ouvrage est de 159 mètres. Le mur du barrage sert de déversoir et fonctionne comme tel presque toute l'année. Ce réservoir a été construit en 1845; il a coûté environ 5 000 francs.

Réservoir de la Betwa (fig. 20).

Un grand réservoir a été récemment construit sur le cours de la Betwa, affluent de la Jumna; il est constitué par un barrage en maçonnerie qui coupe de part en part la vallée de la Betwa, rivière dont le débit atteint, pendant les crues, 20 000 mètres cubes par seconde.

Ce magnifique ouvrage est fondé sur le rocher granitique qui forme le lit de la rivière et il est entièrement construit en pierres de granit avec mortier de ciment; il s'élève à plus de 15 mètres au-dessus des points les plus bas de la vallée. Le couronnement a 4 m. 50 de largeur; le parement extérieur, vertical sur une certaine hauteur à partir du sommet, est ensuite incliné avec un fruit de 24 centimètres par mètre; le parement intérieur affecte un profil courbe. Pour une hauteur du mur égale à 15 mètres, la largeur de la base est de 18 m. 60.

On a résolu, après sa construction, de le surmonter d'une partie mobile destinée à augmenter la hauteur de la retenue.

L'ouvrage de prise est composé de plusieurs arches fermées par des vannes métalliques. Pendant les crues, lorsque le réservoir est plein, l'eau se déverse par-dessus la crête du barrage, en une lame qui peut atteindre jusqu'à 5 mètres d'épaisseur. Un petit contrefort en maçonnerie, établi tout le long du barrage au pied du parement extérieur, protège la surface rocheuse contre les affouillements que pourrait produire la chute de cette énorme masse d'eau.

Réservoir de Chembrambaukum (fig. 19).

Le réservoir de Chembrambaukum est un type intéressant des réservoirs avec digue en terre de la présidence de Madras. Il est situé à 25 kilomètres de cette ville. C'est un grand lac purement artificiel créé anciennement par les indigènes et agrandi par les ingénieurs anglais. Avant les travaux d'agrandissement, il avait une capacité d'environ 60 000 000 de mètres cubes et une superficie de 2 000 hectares; ce volume d'eau était retenu par une digue de 5 kilomètres de longueur ayant jusqu'à 8 mètres de hauteur. Le système de distribution consiste en dix aqueducs de prise et le trop-plein s'échappe par six déversoirs formant une longueur totale d'environ 200 mètres et ayant des chutes variant de 1 m. 80 à 4 mètres suivant la position des ouvrages. Ce réservoir servait à l'irrigation de 4 000 hectares de riz et rapportait au gouvernement un revenu de 110 000 francs environ; les frais annuels d'entretien et de réparation ne dépassaient pas 70 pour 100 de ce revenu.

Ce réservoir tirait à peu près toute son eau des pluies tombant dans son bassin de réception. Les travaux récents d'agrandissement ont porté sa capacité à 77 000 000 de mètres cubes et sa superficie à près de 2 500 hectares; en même temps, on a élargi la section et la prise d'eau du canal qui contribue à son alimentation.

Réservoir de la Mutha.

La Mutha située dans le bassin supérieur de la Kistna prend sa source dans les Ghâts occidentales à 48 kilomètres de la ville de Poona; le réservoir dont la construction a été commencée en 1868 est situé à 16 kilomètres de cette ville; il est fermé par un barrage en maçonnerie fondé sur le rocher, ayant 1 120 mètres environ de longueur, non compris un déversoir de 440 mètres. La hauteur maximum du barrage est de 50 mètres au-dessus du lit de la Mutha, et de 52 m. 10 au-dessus du sol de fondation. La section du mur a la forme d'un trapèze; la crête a une largeur de

4 m. 55, et est à 5 m. 55 au-dessus du seuil des déversoirs. La hauteur maximum de l'eau emmagasinée est donc de 26 m. 50, mais comme le seuil des prises d'eau est à 8 m. 70 au-dessous du niveau de la retenue, il en résulte qu'il y a une couche d'eau inutilisable de 17 m. 80.

Le bassin qui déverse ses eaux dans ce réservoir est de 50 800 hectares; la hauteur de pluie annuelle qui tombe dans ces parages est considérable, elle atteint près de 5 mètres. La surface du réservoir est de 1400 hectares et sa capacité totale de 146 000 000 de mètres cubes; mais le volume utilisable au-dessus du niveau des prises n'est que de 90 000 000 de mètres cubes. Si on compte pour l'évaporation 1 m. 20 de hauteur correspondant à 1 200 000 mètres cubes, le volume à débiter est réellement de 78 000 000 de mètres cubes.

La dépense totale de construction ayant été de 6 200 000 francs, la capacité utile du réservoir revient à 70 francs les 1000 mètres cubes.

Les eaux sont distribuées dans deux canaux situés l'un sur la rive droite, l'autre sur la rive gauche de la Mutha.

Celui de la rive droite a 115 kilomètres de longueur; il passe par Poonah et il est navigable jusqu'à ce point, soit sur 16 kilomètres de longueur; il alimente d'eau potable la ville de Poonah et les nombreux villages situés sur son parcours, et il arrose des terres cultivables situées dans une zone très sèche du plateau de Deccan qui ne reçoit pas plus de 50 centimètres de hauteur de pluie par an.

Le canal de la rive gauche n'a que 22 kilomètres de longueur.

La surface totale commandée par les eaux du réservoir est de 56 000 hectares, et la surface nette irriguée est de 27 000 hectares.

Réservoir d'Ekrak.

Le réservoir d'Ekrak est situé dans la même région que le précédent, à 8 kilomètres au nord-ouest de Sholapur, sur la rivière d'Adhila. Son bassin d'alimentation, qui a 56 000 hectares de superficie, reçoit en moyenne une hauteur annuelle de pluie égale à 80 centimètres, et on a admis qu'un quart de cette hauteur d'eau arrive jusqu'à l'emplacement du réservoir.

D'après le projet approuvé, la digue fermant le barrage devait avoir 2 200 mètres de longueur et être construite en terre dans la partie centrale, avec des murs en maçonnerie aux deux extrémités sur 426 et 596 mètres de longueur. Les travaux furent commencés en 1866 et la digue fut fermée en 1867; elle a 2084 mètres et est construite en terre sur la plus grande partie de cette longueur. La hauteur maximum de cette digue est de 25 mètres; elle a 1 m. 80 de largeur à son couronnement qui s'élève à 5 mètres au-dessus du niveau normal de la retenue c'est-à-dire au-dessus du seuil des déversoirs. Sa section, d'après les dessins du projet, a un talus

incliné à 1 mètre de hauteur pour 5 de base du côté de l'eau et à 1 mètre de hauteur pour 2 de base du côté extérieur, avec un perré de protection de 60 centimètres d'épaisseur du côté de l'eau.

Les déversoirs creusés dans le rocher aux deux extrémités du barrage, ont une ouverture totale de 225 mètres et sont calculés pour débiter 1 200 mètres cubes par seconde avec une lame déversante d'une épaisseur de 3 mètres.

Le réservoir a une superficie de 1 650 hectares et une capacité totale de 94 000 000 de mètres cubes; le seuil de la prise étant à 11 m. 50 au-dessous du niveau de la retenue, la capacité utilisable est inférieure à ce chiffre de 500 000 mètres cubes. On estime que la quantité d'eau évaporée annuellement représente 2 m. 10, soit 22 000 000 de mètres cubes environ; le volume d'eau à débiter est donc réellement de 71 500 000 mètres cubes.

La dépense de construction de ce réservoir ayant été de 1 795 000 francs, le prix des 1 000 mètres cubes de capacité du réservoir revient à 49 francs.

Ce réservoir commande une surface irrigable de 6 700 hectares au moyen de trois canaux; d'après le projet primitif il devait commander 8 500 hectares.

L'un des canaux, situé sur la rive droite, de 29 kilomètres de longueur, débite 1 m³. 680 par seconde; sa prise est à 4 m. 20 au-dessous du niveau de la retenue.

Le second, situé sur la rive gauche, a une longueur de 42 kilomètres et débite 1 m³. 960 par seconde; sa prise est à 11 m. 50 au-dessous du niveau de la retenue; c'est donc un canal à bas niveau.

Le troisième, sur la rive gauche également, a sa prise au même niveau que le premier; sa longueur n'est que de 6 kilom. 500 et son débit de 700 décimètres cubes par seconde.

Le premier et le troisième de ces canaux ne donnent de l'eau aux terres que pendant 4 mois et le second irrigue toute l'année.

Divers réservoirs de la province de Bombay.

Il existe, dans la province de Bombay, un certain nombre de réservoirs dans le genre de ceux qui viennent d'être décrits, en général moins considérables que ceux-ci, mais dont quelques-uns sont encore remarquables par leurs dimensions. Les digues de presque tous ces ouvrages sont en terre.

Le réservoir de Muthi, district de Kaudesh, a un bassin de 15 000 hectares qui reçoit une hauteur de pluie annuelle de 52 centimètres; il forme une réserve pour les ouvrages d'irrigation du cours inférieur de la rivière Panjhra. La capacité utilisable, au-dessus des prises d'eau, est de 9 700 000 mètres cubes. Ce volume d'eau est retenu par une digue en terre

de 900 mètres de longueur ayant une largeur en couronne de 3 mètres et une hauteur maximum de 19 m. 50; le déversoir a 477 mètres de longueur. La dépense de construction de ce réservoir a été de 550 000 francs, soit 57 francs pour 1000 mètres cubes de capacité utilisable.

Le réservoir d'Ashti, district de Sholapur, est beaucoup plus considérable; sa capacité utilisable est de 38 000 000 de mètres cubes et il commande une surface irrigable de 6000 hectares, il a un bassin de réception de 25 800 hectares recevant annuellement 95 centimètres de pluie. Il est fermé par une digue en terre de 1 m. 80 de largeur au sommet, 17 m. 40 de hauteur maximum et 3810 mètres de longueur.

Le déversoir a 240 mètres de longueur.

La dépense de construction a été de 950 000 francs représentant un prix de revient de 25 francs par 1000 mètres cubes de capacité utilisable.

Un autre grand réservoir de la même région est encore celui de Nehr, district de Sattara, qui a un bassin de réception de 15 500 hectares recevant annuellement 70 centimètres de hauteur de pluie. La surface du réservoir est de 265 hectares; il forme réserve d'eau pour les canaux Yerla. La digue en terre qui le ferme a 1 446 mètres de longueur, 2 m. 40 de largeur à la crête et 22 m. 20 de hauteur maxima; le déversoir a 510 mètres de longueur. La dépense de construction a été de 752 000 francs. Comme la capacité utile est de 13 900 000 mètres cubes, le prix de revient des 1000 mètres cubes de capacité est de 54 francs.

Prix de revient des réservoirs.

On voit par les chiffres ci-dessus que, dans la province de Bombay, le prix de revient des 1 000 mètres cubes de capacité est très variable. Pour le réservoir de Patas, qui n'a que 400 000 mètres cubes de capacité, il s'élève jusqu'à 197 francs, tandis que pour le grand réservoir d'Ekrak, il descend à 19 francs, soit dix fois moins. Il n'est pas d'ailleurs absolument exact de prendre comme base de comparaison de l'utilité des dépenses faites le prix des 1 000 mètres cubes de capacité, car certains réservoirs peuvent se remplir, soit partiellement, soit même une ou plusieurs fois, pendant la saison d'irrigation.

Pour 16 réservoirs de la province de Bombay, construits avant 1882 dans les conditions les plus diverses, avec des capacités allant de 400 000 mètres cubes à 94 000 000 de mètres cubes, avec des digues ayant leurs longueurs comprises entre 450 mètres et 3810 mètres, et dont la hauteur maximum varie suivant les réservoirs de 9 m. 50 à 29 m. 50, la capacité utilisable de l'ensemble de ces réservoirs étant de 291 000 000 de mètres

cubes et la dépense totale de 12950 000 francs, le prix de revient moyen des 1 000 mètres cubes de capacité ressort à 44 francs.

Le lieutenant général Mullins estime que, dans la province de Madras, pour qu'un réservoir rapporte 5 pour 100 de l'argent dépensé à sa construction, il ne faut pas que le prix de revient des 1 000 mètres cubes de capacité soit supérieur à 26 francs.

Le Caire, le 15 février 1892.

Barrage de Roopana .

Fig. 16. Plan.

Echelle de 0^m00025 p. 1^m

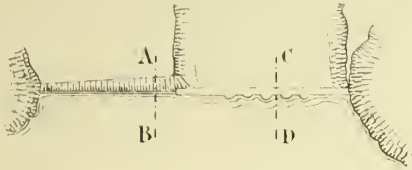


Fig 17. Coupe CD.

Echelle de 0^m0025 p. 1^m

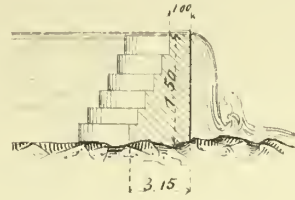
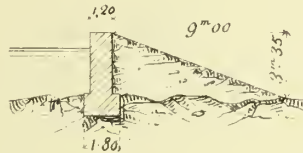


Fig. 18. Coupe AB.

Echelle de 0^m0025 p. 1^m.



Réservoir de Chembrambaukum.

Fig. 19. Carte d'ensemble.

Echelle de 0^m02 p. 1 Kilomètre.



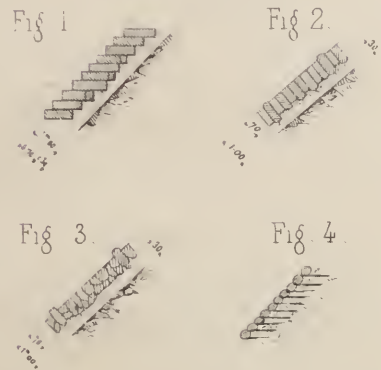
Betwa.

01 p. 1^m.

N.B. les lettres indiquent
les prises d'eau et les
chiffres les déversoirs

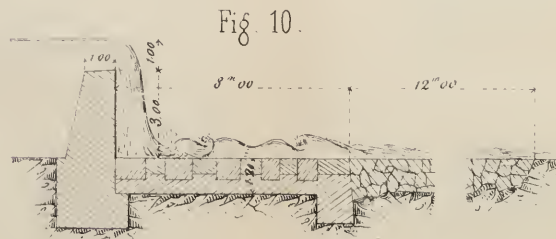
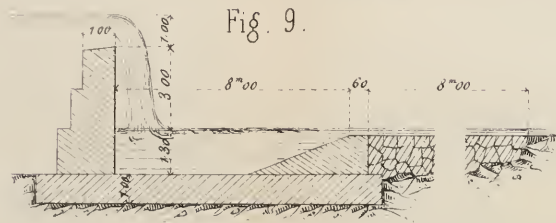
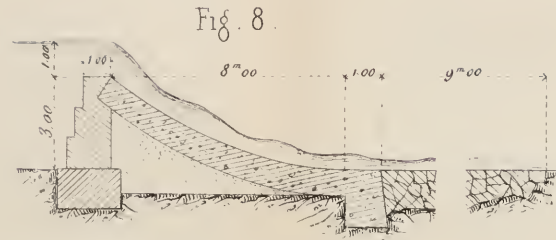
Types de revêtements de digues.

Echelle de 0^m005 p 1^m



Types de déversoirs

Echelle de 0^m005 p 1^m



Barrage du Kabra

Fig. 14. Plan.
Echelle de 0^m00025 p 1^m

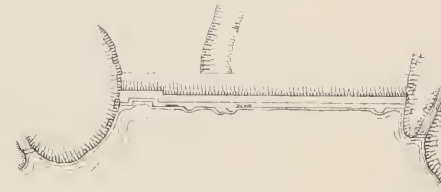
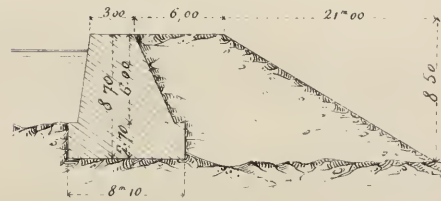


Fig. 15. Coupe du barrage
Echelle de 0^m0025 p 1^m



Barrage de Roopana

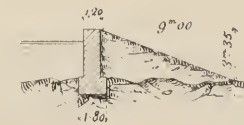
Fig. 16. Plan.
Echelle de 0^m00025 p 1^m



Fig. 17. Coupe CD
Echelle de 0^m0025 p 1^m



Fig. 18. Coupe AB.
Echelle de 0^m0025 p 1^m



Déversoir de Carangooly.

Fig. 5. Plan.
Echelle de 0^m00025 p 1^m

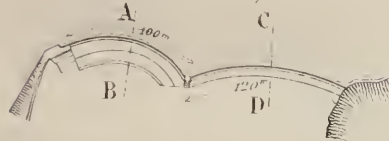


Fig. 6. Coupe suivant AB.
Echelle de 0^m002 p 1^m



Fig. 7. Coupe suivant CD
Echelle de 0^m002 p 1^m



Prise d'eau.

Fig. 11. Coupe en long. Fig. 12. Coupe AB.
Echelle de 0^m01 p 1^m

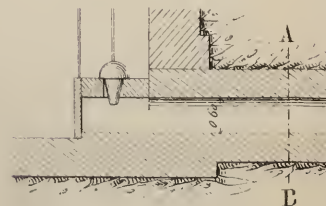
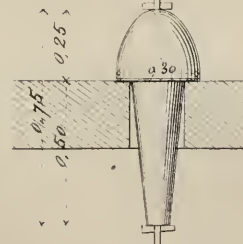


Fig. 13. Bonde.
Echelle de 0^m05 p 1^m



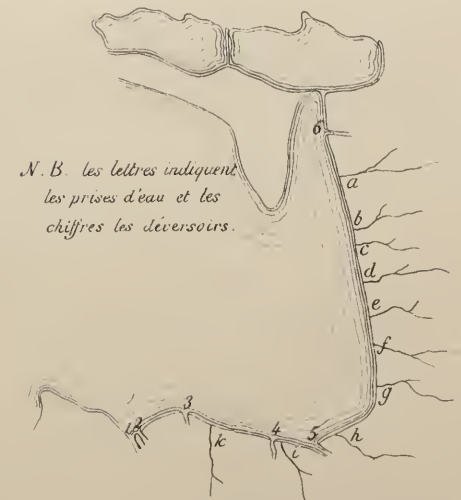
Barrage de la Betwa.

Echelle de 0^m001 p 1^m



Réservoir de Chembrambaukum.

Fig. 19. Carte d'ensemble.
Echelle de 0^m02 p 1 Kilomètre.



V^{ème} CONGRÈS INTERNATIONAL DE NAVIGATION INTÉRIEURE
PARIS 1892

4^{me} QUESTION

RÉSERVOIRS

ÉTABLIS EN ESPAGNE

RAPPORT

PAR

M. A. DE LLAURADO

Ingénieur en chef du district forestier, à Madrid

PARIS

IMPRIMERIE GÉNÉRALE LAHURE

9, RUE DE FLEURUS, 9

1892

RÉSERVOIRS ÉTABLIS EN ESPAGNE

RAPPORT

PAR

M. A. DE LLAURADO

Ingenieur en chef du district forestier, à Madrid.

Les réservoirs ne peuvent être nullement envisagés en Espagne au point de vue de leur application à la navigation intérieure, car cette navigation n'existe presque pas, comme je l'ai démontré dans mon Rapport au Congrès de Manchester. Parmi les cours d'eau qui coulent dans la péninsule Ibérique, il n'y a que ceux qui débouchent dans l'Atlantique qui soient plus ou moins navigables dans leur région maritime.

Dans les pays qui, comme le centre et le midi de l'Espagne, sont sujets à de longues périodes de sécheresse, où les pluies ont un caractère d'irrégularité, où les rivières ne sont pas alimentées par des neiges perpétuelles, et ne traversent pas de grands lacs qui régularisent leur régime, les barrages-réservoirs constituent un moyen toujours précieux, parfois unique, de rassembler les eaux nécessaires à l'agriculture, à l'industrie et à l'alimentation des villes, surtout à l'époque où les étiages sont très bas, et où les eaux sont réclamées avec le plus d'urgence pour donner satisfaction à tous les besoins.

Ce supplément d'eau peut être recueilli, soit en élevant en pays de montagnes des digues transversales, placées aux rétrécissements des cours d'eau, soit en emmagasinant les eaux de rivière dans une dépression naturelle du sol. Les réservoirs peuvent servir aussi à utiliser les eaux d'une source, lorsque le débit de cette source n'est pas suffisant pour donner lieu à une jouissance continue. Cet emploi des barrages permet l'application presque immédiate de l'arrosage aux cultures, sans qu'on ait à construire un grand développement de canaux, surtout dans les contrées montagneuses, où les réservoirs peuvent être établis à proximité des terrains à irriguer.

En Espagne, dans toute la partie inférieure des bassins des rivières tributaires de la Méditerranée, la construction des barrages-réservoirs sur le lit des affluents est le moyen le plus simple et le plus naturel de suppléer à l'insuffisance des débits d'étiage, et d'assurer l'arrosage d'une région où l'irrigation a pris une extension considérable depuis des siècles.

Les barrages-réservoirs constituent aussi en ce moment un système de défense contre les ravages des inondations qui se produisent périodiquement dans la « lluerta » (plaine irriguée) de Murcie, en les combinant avec des travaux de reboisement des terrains supérieurs des bassins du Ségura et du Guadalentin. Je donnerai plus loin quelques renseignements sur ce projet, qui est sur le point d'être mis à exécution, et qui a pour but de rendre utiles à l'agriculture les eaux de crue des deux rivières qui dévastent de temps en temps cette belle et riche contrée si tristement célèbre.

Avant de traiter des barrages-réservoirs au point de vue de leur genre de construction, je donnerai ici quelques indications générales, qui ne seront peut-être pas hors de propos.

Ayant en vue les conditions climatériques et topographiques de la région méditerranéenne de l'Espagne, on peut calculer que les réservoirs destinés à recevoir les eaux de pluie utilisent seulement en moyenne 50 pour 100 de la quantité d'eau de pluie tombée dans le bassin de réception; le reste est censé perdu par évaporation et par infiltrations.

Il est assez difficile, en général, de déterminer les pertes d'eau par infiltration, puisqu'elles dépendent du degré de perméabilité du sol et de la charge d'eau sur le fond du réservoir. Dans les conditions topographiques les plus favorables, il vaut mieux, en général, une grande étendue de superficie liquide qu'une trop grande charge d'eau sur le fond.

La question de la capacité relative du réservoir mérite aussi quelques explications sommaires. Lorsqu'on dispose d'un grand volume d'eau, on peut l'emmagasiner dans un grand réservoir, ou la partager entre deux ou plusieurs réservoirs, qui auraient ensemble la même capacité totale.

Les grands réservoirs ont les inconvénients suivants :

1° Ils exigent une plus grande longueur pour le canal d'amenée et pour les rigoles de distribution, lorsque les eaux sont destinées aux irrigations, et donnent lieu, par suite, à des pertes d'eau plus considérables dans le trajet qu'elles ont à accomplir avant l'emploi;

2° En cas de rupture ou d'avarie des digues, les accidents sont beaucoup plus graves si le réservoir est grand que s'il est petit; la rupture d'un grand barrage peut même donner lieu à de véritables catastrophes, comme celle qui s'est produite à la suite de la rupture du barrage de Lorca au commencement de ce siècle;

3° La réparation des avaries et les curages interrompent complètement le service, tandis que, par la substitution au réservoir unique d'un certain nombre de réservoirs indépendants, les chômages ne seront jamais simultanés, et le service pourra n'être pas complètement interrompu;

4° Il est généralement plus facile de trouver en pays de montagne des emplacements favorables à la construction de plusieurs réservoirs de grandeur moyenne, qu'à celle d'un réservoir d'une grande capacité.

Par contre, les grands réservoirs ont les avantages suivants :

1° Ils occupent, en général, une surface moindre que plusieurs petits réservoirs de même capacité totale, et les pertes d'eau par évaporation sont moins importantes;

2° Les frais de construction sont généralement inférieurs pour un grand réservoir que pour plusieurs petits, lorsqu'on les rapporte à l'unité de volume d'eau emmagasinée.

En définitive, avantages et inconvénients pesés, j'estime que toutes les fois que les conditions d'emplacement d'un réservoir ne sont pas imposées par la nature du terrain, par la topographie, ou par d'autres causes, il est préférable d'élever deux barrages-réservoirs, ou un plus grand nombre, au lieu d'un grand réservoir unique contenant la même quantité d'eau.

Le système des petits réservoirs a reçu en Espagne dans les provinces du littoral de la Méditerranée de nombreuses applications. On s'en sert pour recueillir les eaux provenant des sources naturelles, ou pour créer des sources artificielles, que l'on obtient en construisant un barrage souterrain à travers la masse d'alluvions déposée au fond d'un torrent. Ces barrages doivent être fondés sur une couche imperméable. Ils relèvent le niveau de la nappe d'eau souterraine et l'amènent à l'extérieur au moyen d'une galerie ouverte à travers la masse des dépôts. On se sert aussi très fréquemment de barrages de même nature pour contenir les eaux provenant de fouilles exécutées par des particuliers ou par des syndicats. Les galeries d'absorption forment quelquefois des réseaux souterrains qui mesurent plusieurs kilomètres. Cette méthode de captation des eaux est d'une application constante sur le littoral de la Catalogne, où les cours d'eau ont un développement très restreint, resserrés qu'ils sont entre la mer et les montagnes où ils prennent leur source.

Lorsqu'il s'agit de construire de grands réservoirs sur le lit même des rivières ou de leurs affluents, il faut avoir recours aux digues en maçonnerie.

Les murs des réservoirs peuvent être divisés en deux classes : ceux qui déversent le trop-plein de l'eau par-dessus leur couronnement, et ceux pour lesquels on ménage un déversoir latéral de décharge.

Les premiers doivent être limités aux cas où le mur ne doit pas avoir une grande hauteur, et où le volume des eaux de crue ne peut pas être trop considérable; autrement le choc d'une grande masse d'eau tombant d'une grande hauteur serait nécessairement une cause de destruction très importante, quelles que soient les précautions prises pour éviter les dégâts. On doit regarder comme une condition indispensable de stabilité d'un barrage que la fondation repose sur un terrain de résistance indéfinie.

Le problème de la détermination du profil transversal des barrages est du domaine de la mécanique appliquée et je n'en parlerai pas ici.

Pour le service régulier des réservoirs il faut des dispositions particulières qui permettent de faire fonctionner les prises d'eau quand le réservoir se remplit de vase et des moyens énergiques de curage, sans lesquels les réservoirs seraient bien vite comblés.

Les procédés généralement adoptés en Espagne consistent :

1° Dans l'établissement d'un puits, dont la paroi, du côté de la retenue, est percée, à différentes hauteurs, de barbacanes, de telle sorte que l'eau puisse pénétrer dans l'aqueduc de prise d'eau, quelle que soit la hauteur des vases ;

2° Dans la construction d'une galerie de curage, par laquelle on fait écouler les dépôts au moyen de chasses puissantes, renouvelées aussi souvent que le besoin s'en fait sentir.

Les barrages-réservoirs offrent un grave inconvénient qu'on n'est pas toujours en mesure d'éviter, surtout lorsque les terres qui forment le bassin de réception des pluies opposent une faible résistance à l'action érosive des eaux. Je veux parler des atterrissements qui se produisent dans les réservoirs, et qui parfois les comblent complètement et les rendent tout à fait inutiles. J'en pourrais citer de nombreux exemples. Lorsque les alluvions déposées au fond des réservoirs atteignent de grandes proportions, les curages doivent être fréquents, et la quantité d'eau qu'ils exigent doit être d'autant plus grande qu'il s'agit de débayer une couche plus épaisse de dépôts. La difficulté du curage varie naturellement avec l'importance du réservoir, avec la nature des alluvions qui s'y déposent, avec le mode de fermeture de la galerie de curage et avec la hauteur d'eau sur le fond de la retenue.

Lorsque la hauteur d'eau au-dessus de la vanne qui ferme la galerie de curage est assez grande, il faut établir une contre-pression sur la face d'aval de la vanne, de manière à n'avoir à vaincre que les frottements et les résistances accessoires. On a employé ce procédé au grand réservoir de Lorca, mais malheureusement hors de temps et lorsque les alluvions avaient déjà acquis une consistance de pierre et que le courant de fond n'avait plus aucune efficacité pour désagréger les vases solidifiées. Je reviendrai plus loin sur le curage de ce réservoir, qui est peut-être condamné à être entièrement comblé à la suite des difficultés éprouvées, dès les premières années, pour l'ouverture des vannes de fond.

Dans les vieux réservoirs espagnols, la galerie de curage est fermée à l'amont par des portes unies ou par des poutres en bois. On les abat lorsque les alluvions ont acquis assez de consistance pour résister par elles-mêmes à la pression des eaux. Puis, au moyen d'une sonde, que l'on peut manœuvrer du haut du mur qui forme le barrage, on creuse dans la masse des alluvions un trou par lequel la pression de l'eau va s'exercer directement sur la surface des dépôts à l'entrée de la galerie. La débâcle ne tarde

pas à se produire, et elle s'accélère rapidement par l'élargissement de la galerie, qui se creuse en forme d'entonnoir. De profonds ravinements s'opèrent au sein des dépôts ; il n'en reste bientôt plus que de faibles traces ; des ouvriers les font tomber dans le courant et elles sont entraînées aussitôt.

La réussite du curage des réservoirs exige surtout que l'on ne laisse pas aux vases le temps de prendre une trop grande consistance.

Il y a en Espagne trois réservoirs qui méritent d'être étudiés au point de vue des curages : ce sont ceux d'Almansa, de Tibi et d'Elche, dans lesquels on pratique depuis des siècles des curages avec un succès complet. Les détails de construction et de fermeture de ces barrages, et l'organisation des manœuvres, peuvent être étudiés dans mon « Traité des eaux et des irrigations », dans le livre intitulé « Irrigations du midi de l'Espagne » de l'ingénieur français M. Aymard, et dans la brochure plus récente publiée par les ingénieurs italiens Zoppi et Torricelli, sous le titre : « Irrigazioni e laghi artificiali della Spagna ».

Le barrage-réservoir de Lorca offre quelque intérêt au point de vue des atterrissements qui s'y sont produits à la suite du système défectueux de fermeture des vannes de fond et de la mauvaise disposition des galeries de curage. Les accidents survenus à l'occasion des essais pratiqués pour ouvrir les vannes ont empêché le déblayage des premières couches de vase ; les alluvions ont aujourd'hui une hauteur de 18 m. 57. La Compagnie se trouve dans un état trop précaire pour songer à exécuter des dragages qui ressortiraient à un prix trop élevé, et il est à craindre que le réservoir ne soit comblé dans un bref délai, si l'État ne vient pas en aide à la Compagnie concessionnaire ; l'intérêt général exige la conservation du réservoir de Lorca, comme un moyen d'emmagasiner une partie des eaux d'inondation qui ravagent actuellement la Huerta de Murcie.

Le barrage de Lorca est muni de trois galeries de fond destinées aux curages ; deux sont percées dans la roche sur la rive droite, et la troisième sur la rive gauche. Ces galeries, de 1 m. 80 de large sur 3 m. 20 de haut, sont fermées du côté de la retenue par trois vannes en fer de 1 m. 25 sur 2 mètres. Les tiges des vannes sont en communication avec un accumulateur hydraulique Armstrong de la force de 100 tonnes. Une des vannes s'est immobilisée au mois de septembre de 1884 et reste depuis cette époque inutile. Une seconde vanne, immobilisée en 1886, n'a été remise en action qu'en 1888. En ce moment, deux des vannes fonctionnent bien, à la suite de l'établissement d'une nouvelle vanne de 1 mètre sur 1 m. 25 à la face d'aval de chacune des deux galeries ; cette vanne facilite la communication de la portion de galerie comprise entre les deux vannes avec l'eau du réservoir, au moyen d'un tube en fonte qui part du robinet de la conduite des eaux claires. Cette double vanne laisse sans solution le problème de la facile évacuation des alluvions, si l'on entreprenait des curages méthodiques.

La quantité énorme des vases déposées dans le réservoir de Lorca dépend de plusieurs causes que j'indiquerai sommairement. En mai 1884, pendant la construction des travaux, lorsque la hauteur du mur était comprise entre 56, 40 et 50 mètres, le Guadalentin éprouva des crues qui durèrent dix jours et donnèrent un contingent de 165 millions de mètres cubes d'eau. 3645
- 1735
5724

Des sondages et des calculs faits au mois d'août 1889 ont indiqué un volume de 9 millions de mètres cubes de limon déposés dans le réservoir.

Pendant la crue du 11 septembre 1891, le débit maximum du Guadalentin s'éleva près du barrage à 1 890 mètres cubes par seconde. Les vannes utiles étaient alors ouvertes et les couches les moins consistantes furent enlevées. Cette crue énorme, pendant les 25 minutes de sa période d'intensité maximum, fit monter le niveau des eaux du réservoir de 5 centimètres par minute. 67500

Les eaux étaient presque claires à la surface de la retenue, pendant

TABLEAU COMPARATIF DES BARRAGES-RÉSERVOIRS

NOM des BARRAGES.	RIVIÈRES sur lesquelles ils sont établis.	COURONNEMENT DES BARRAGES.			LARGEUR DES BARRAGES		PAREMENT baigné PAR LES EAUX.
		Forme.	Longueur.	Hauteur.	à la base.	au couronne- ment.	
D'Almansa.	Un torrent affluent du Vinalopo.	Ligne brisée au couronnement et à la base arc de cercle de 26 m. 24 de rayon.	mèt. cent. 89,00	mèt. cent. 20,69	mèt. cent. 10,20	mèt. cent. 2,90	Presque vertical.
De Tibi ou d'Alicante.	Monègre.	Arc de cercle de 60 mètres de corde et de 2 m. 78 de flèche.	67,45	44,58	50,70	19,50	Presque vertical.
D'Elche.	Vinalopo.	Arc de cercle de 62 m. 60 de rayon.	70,00	25,20	12,00	9,00	Presque vertical.
De Bluesca.	Isucla.	Droite.	55,00	20,00	16,00	11,00	Vertical.
Del Gasco.	Guadarrama.	Droite.	250,77	95,55	72,45	4,08	Talus de 60 degrés.

que les vannes de fond débitaient des eaux chargées de 40 pour 100 de matières limoneuses ; le courant emportait toutes sortes d'objets lourds.

Les vases ayant acquis au réservoir de Lorca une consistance pierreuse, l'influence de l'ouverture des vannes de fond sur les anciennes couches est presque nulle et l'eau glisse sur le creux du cône de déblayage sans arracher la moindre particule de terre. En temps normal l'influence de l'ouverture des vannes se fait sentir sur les premières couches de vase jusqu'à une distance de 80 mètres du parement d'amont ; au moment de crues, l'effet du courant se transmet à une plus grande distance, et les limons charriés ne se déposent pas. L'administration du barrage empêche les cônes d'évacuation situés près des vannes de fond de se combler, en conservant les vannes ouvertes pendant les crues. En temps normal les vases se déposent très lentement.

Les conditions de construction des barrages-réservoirs les plus importants de l'Espagne sont résumées dans le tableau suivant :

LES PLUS IMPORTANTS EXÉCUTÉS EN ESPAGNE

RÉGULATEUR de SUPERFICIE.	GALERIES PÉPCÉES dans LA MAÇONNERIE.	GENRE de CONSTRUCTION.	DATE de la CONSTRUCTION.	OBSERVATIONS.
Déversoir de surface de 12 mètres de largeur et de 2 mètres de hauteur.	Galerie unique de service et de curage de 1 m. 30 de largeur.	Maçonnerie en moellons avec socle de grosses pierres de taille.	xvi ^e siècle.	La capacité du réservoir est de 1 400 000 mètres cubes.
Déversoir sur la rive droite et à la partie supérieure du barrage de 2 m. 10 de largeur.	Galerie de curage et galerie de service des eaux. — Puits à barbacanes de 80 centimètres de diamètre.	Pierre de taille et maçonnerie intérieure.	1579-1581.	La capacité du réservoir est de 5 millions de mètres cubes, et fournit à l'arrosage 50 millions de mètres cubes par an.
Il n'y a pas de régulateur de superficie.	Galerie de curage. — Galerie de service communiquant avec le puits à barbacanes de 90 centimètres de diamètre.	Construction analogue à celle du barrage de Tibi.		La date précise de la construction de ce barrage n'est pas connue. Il paraît remonter à la fin du xvi ^e siècle et être contemporain du barrage-réservoir de Tibi.
	Galerie unique.	Maçonnerie en moellons piqués.	Fin du xvii ^e siècle.	La capacité du réservoir est de 1 178 000 mètres cubes ; on va augmenter la hauteur du mur pour porter le volume à 5 millions de mètres cubes. Le coût du barrage fut de 500 000 francs.
Déversoir de 16 m. 72 de largeur sur le côté droit.	Galerie de curage de 8 m. 36 de largeur.	Maçonnerie d'une épaisseur constante de 2 m. 78 dans les parements reliés par des murs transversaux en maçonnerie partageant l'espace en caissons qu'on a rempli de pierres et d'argile.	1788.	Le 14 mai 1789, lorsque le mur atteignait une hauteur de 57 m. 12, les pluies rendirent les argiles, et amenèrent la destruction d'une grande partie du mur. Le canal dérivé perdait ses eaux en arrivant aux sables quaternaires des environs de Madrid. L'ouvrage fut abandonné.

Tableau comparatif des barrages-réservoirs

NOM des BARRAGES.	RIVIÈRES sur lesquelles ils sont établis.	COURONNEMENT DES BARRAGES.			LARGEUR DES BARRAGES		PAREMENT baigné PAR LES EAUX.
		Forme.	Longueur.	Hauteur.	à la base.	au couronne- ment.	
De Puentes ou de Lorca.	Confluent des ruisseaux Velez et Luchéna.	Ligne brisée dont les côtés sont 79 m. 41, 115 m. 65 et 45 m. 14	mèt. cent. 240,17	mèt. cent. 50,15	mèt. cent. 40,12	mèt. cent. 6,15	Vertical.
De Val de Inferno.	Luchéna.	Ligne brisée. Cinq droites égales de 45 m. 88 chacune.	79,14	55,66	50,15	8,56	Vertical.
De Nijar.	Torrent du Carizal.	Arc de cercle de 51 m. 76 de corde et 5 m. 06 de flèche.	105,52	27,86	20,62	16,72	Presque vertical.
Ponton de la Oliva.	Lozoya.	Droite.	72,44	28,00	59,00	6,69	Talus de 50 degrés.
Del Villar.	Lozoya.	Arc de cercle de 57 m. 50 de rayon.	154,80	51,40	46,10	5,20	Vertical avec talus à la base. Parement courbe à l'aval.
Nouveau réservoir de Puentes ou de Lorca.	Confluent des ruisseaux Velez et Luchéna.	Arc de cercle de 200 mètres de rayon et de 16 mètres de flèche.	165,00	48,00	38,00	4,00	Talus de 0.05 pour 1
De Nijar.	Martin.	Arc de cercle de 64 mètres de rayon.	72,00	45,00	44,80	5,00	Vertical jusqu'à une profondeur de 25 mètres et courbe au fond, dévié à la base de 6 m. 50.

les plus importants exécutés en Espagne (suite).

RÉGULATEUR de SUPERFICIE.	GALERIES PERCÉES dans LA MAÇONNERIE.	GENRE de CONSTRUCTION.	DATE de la CONSTRUCTION.	OBSERVATIONS.
A défaut de robinets de la galerie de curage qui ne purent être construits lorsque le barrage menaçait ruine, on construisit sur la rive droite un déversoir de décharge de 8 m. 55 qui fut insuffisant.	Galerie de curage de 6 m. 68 de largeur. Galerie de service de 1 m. 59 de largeur.	Parement en pierres de taille de 0 m. 856 de queue moyenne. Les joints étaient peu soignés. Massif de maçonnerie. — Fondations sur pilotis.	1785-1791.	Ce barrage avait une résistance insuffisante à cause de sa construction peu soignée, et surtout à cause des fondations, qui cédèrent à la charge d'eau de 41 mètres en 1802, et donnèrent lieu à une affreuse catastrophe. Ce barrage est actuellement reconstruit sur un nouveau plan. Sa capacité était de 55 millions de mètres cubes.
Ce barrage n'a pas de déversoir de décharge.	Galerie de curage de 4 m. 46 de largeur. Galerie de service au fond de 84 centimètres, et seconde galerie plus élevée de 1 m. 39.	Construction analogue à celle du réservoir de Puentes, mais un peu plus soignée. Le barrage fut fondé sur une roche calcaire oolithique, qui donnait lieu à des infiltrations abondantes.	1792.	Le réservoir a été comblé par les atterrissements. On pense à le déblayer et à élever le mur pour emmagasiner les eaux d'inondation.
Ce barrage n'a pas de déversoir de décharge.	Galerie de curage de 97 centimètres de largeur. Galerie de service de 84 centimètres. — Puits à barbacanes de 2 m. 50 de diamètre. Puits des vannes de 84 centimètres de diamètre.	Pierre de taille et maçonnerie ordinaire.	1850.	La hauteur du barrage est excessive, et la capacité du réservoir, de 15 millions de mètres cubes, n'est pas en rapport avec la quantité d'eau fournie par les pluies dans le bassin d'amont. Le réservoir est en grande partie comblé par les atterrissements.
Galerie de curage indépendante du barrage, ouverte dans la roche de la rive droite, de 8 m. 56 de largeur et située à 5 m. 06 au-dessous du couronnement du barrage.	Le mur n'est percé par aucune galerie. La galerie de service est latérale; elle est ouverte dans le rocher à 9 mètres au-dessous du couronnement.	Maçonnerie en pierre de taille de 18 m. 67 d'épaisseur à la base et de 6 m. 69 au couronnement. Massif intérieur de maçonnerie hydraulique en gros liages et moellons.	1852.	La capacité utile du réservoir ayant été insuffisante pour l'alimentation de la ville de Madrid, on a été obligé de construire à la distance de 27 kilomètres en amont le barrage-réservoir « del Villar ».
Déversoir latéral de 60 mètres de largeur à 2 m. 50 au-dessous du couronnement.	Deux galeries de curage de 1 m. 55 de largeur, destinées aussi au service de débit.	Pierre de taille et maçonnerie.	1870.	La capacité du réservoir est de 20 millions de mètres cubes destinés au service des eaux de Madrid. La charge d'eau est de 11 m. 50. Il a fallu donner plus de largeur au couronnement du barrage, car ce couronnement remplace un pont qui était à peu de distance en amont et qui a été supprimé. Le coût total a été de 1 665 655 francs.
Déversoir latéral.	A 49 m. 70 du fond, deux tubes en fonte de 60 centimètres de diamètre, communiquant avec les puits à barbacanes, conduisent l'eau à la galerie de service. Deux galeries de curage de 1 m. 20 de largeur sur 2 mètres de hauteur.	Pierre de taille et maçonnerie.	1885.	La capacité du réservoir est de 51 560 000 mètres cubes. Les fondations ont été descendues jusqu'à 24 mètres au-dessous du thalweg. Les atterrissements ont en mars 1892 une hauteur de 18 m. 55.
Deux déversoirs latéraux mesurant ensemble 55 mètres de largeur à 3 mètres au-dessous du couronnement.	Galerie de service d'un mètre de largeur et 1 m. 20 de hauteur, avec puits à barbacanes et galerie de curage avec puits pour la manœuvre.	Pierre de taille et maçonnerie.	1887.	Ce sont deux réservoirs dont l'un a une capacité de 6 millions de mètres cubes et l'autre de 11 millions. Les conditions des barrages sont à peu près égales. Le coût total a été de 1 227 452 francs, et le prix de revient de l'eau est calculé à 7 centimes le mètre cube.

Les réservoirs fermés par des digues en terre constituent en Espagne un moyen simple et économique d'utiliser les eaux de pluies ou celles qui proviennent de petites sources, le plus souvent, dans des terrains qui n'ont pas une grande pente, et sont ordinairement destinés à des irrigations peu développées. Ces réservoirs permettent de perfectionner la culture agricole, en localisant les arrosages dans de petites parcelles, et dans les endroits où, pour une cause quelconque, il n'est pas possible d'établir des travaux d'ensemble destinés à l'aménagement d'une zone plus étendue.

Lorsque le terrain où l'on veut établir un réservoir a une faible pente, on construit la digue, autant que possible, partie en déblai et partie en remblai, de manière à réduire dans la mesure du possible le mouvement des terres.

La forme circulaire du réservoir est la plus favorable lorsque les circonstances particulières ne s'y opposent pas. En général il conviendra de tirer profit des dépressions naturelles du terrain pour l'établissement du réservoir. Cette dépression peut être constituée par un rétrécissement du bassin dont on veut retenir les eaux. On pourra aussi conduire les eaux au moyen d'une dérivation à l'emplacement considéré comme le plus avantageux.

Les digues en terre ont généralement une hauteur de 0 m. 50 au-dessus des plus hautes eaux du réservoir, lorsque celui-ci n'a pas une grande capacité; dans les grands réservoirs cette hauteur est d'un mètre, ou plus, pour que les vagues ne détériorent pas le couronnement du barrage.

Il faut, au surplus, donner une plus grande hauteur à la digue dans toute sa longueur afin de compenser la perte occasionnée par le tassement des terres, qui équivaut en moyenne au vingtième de la hauteur. La largeur de la digue en couronne est ordinairement de 1 m. 50, indépendamment des autres dimensions, lesquelles sont au surplus fonction de la hauteur et des talus adoptés pour les parements. Il faut seulement adopter une plus grande largeur à la crête, lorsque celle-ci doit servir au passage d'une voie de communication entre les deux versants de la vallée barrée.

Le talus extérieur dépend de la nature des terres employées; mais dans la pratique on adopte généralement un talus d'un à un et demi de base pour un de hauteur. Le talus d'amont doit être plus tendu, et l'on adopte ordinairement trois de base pour un de hauteur.

Lorsque le réservoir est exposé à recevoir une quantité d'eau plus grande que celle qu'il peut contenir d'après les conditions de la construction, on dispose un déversoir de superficie à l'une des extrémités de la digue, ou aux deux, et on abandonne les eaux du trop-plein à la pente du terrain naturel.

Pour vider complètement un réservoir, ou pour en tirer l'eau exigée par le service, le moyen adopté consiste, d'une manière générale, à disposer un orifice qui puisse s'ouvrir et se fermer à volonté, et une galerie dans

la partie la plus basse, qui traverse la digue dans le sens de sa plus grande épaisseur et normalement à la projection de ses parements.

Plusieurs réservoirs ont été construits récemment en Espagne avec des digues en terre; les plus importants sont ceux de Logroño et d'Egá de los Caballeros.

Le réservoir de Logroño est alimenté par les eaux d'un ancien canal d'irrigation, appelé « Rio Somero », dérivé de la rivière Irégua, affluent de l'Èbre. La capacité du réservoir est de 1 500 000 mètres cubes. Le barrage est constitué par une digue en terre de 10 mètres de hauteur, qui surpasse d'un mètre le niveau supérieur de la retenue. La largeur au couronnement est de 2 mètres. Au parement d'aval le talus est de 1 m. 50 de base pour 1 de hauteur, et à l'amont de 2 m. 80 pour 1. En plan, l'axe de la digue est une ligne droite. A l'une des extrémités de la digue on a disposé un déversoir de superficie de 50 mètres de largeur. La galerie de service est fermée à l'amont par une vanne extérieure. Ce réservoir n'a pas de galerie de curage, car lorsque les eaux sont trop bourbeuses on ne les laisse pas entrer dans la retenue. Le prix total de la construction s'est élevé à 80 000 francs. L'eau se vend au prix de 12 fr. 50 l'arrosage de 500 mètres cubes par hectare, soit à 0 fr. 025 par mètre cube.

Le barrage-réservoir d'Egá de los Caballeros, dans la province de Saragosse, prend aussi les eaux d'un ancien canal d'arrosage, dérivé de la rivière Arba de Suésia, au moyen d'une vanne d'un mètre de hauteur et de deux autres vannes supplémentaires que l'on ouvre pendant la période des hautes eaux et que l'on ferme pendant l'étiage. La capacité du réservoir est de 2 200 000 mètres cubes. Le barrage est constitué par une digue en terre de 14 mètres de hauteur, dont le couronnement surpasse de 2 mètres le niveau maximum de la retenue; cette partie supérieure de la digue est revêtue de pierres. La section transversale de la digue a la forme de deux trapèzes superposés, formant du côté d'aval un talus unique de 1 m. 50 de base sur 1 de hauteur. Du côté d'amont les 2 mètres supérieurs ont 1 m. 50 sur 1 et le parement baigné par les eaux 5 sur 1. La largeur au couronnement est d'un mètre. Un déversoir de superficie de 10 mètres de largeur, ouvert sur le terrain naturel, sert à l'émission du trop-plein. La galerie de service est constituée par une conduite en fonte, longue de 41 mètres, de 60 centimètres de diamètre, renforcée par une construction en maçonnerie hydraulique. La vanne est située sur la face d'aval. Le prix de revient de la construction a été de 195 520 francs y compris la dépense d'un barrage de 6 mètres de hauteur construit dans la rivière pour augmenter le débit du canal d'alimentation. Ce réservoir est destiné à l'arrosage d'une surface de 2 000 hectares.

J'ai indiqué plus haut qu'on est en train de faire concevoir les barrages-réservoirs au double but de fournir des eaux à l'agriculture et d'amoindrir les désastres causés par les inondations. Ce projet, destiné à la « Huerta »

de Murcie, a été confié par le Gouvernement à mon excellent ami M. l'inspecteur général des Ponts et Chaussées R. Garcia.

La Huerta de Murcie est située au confluent des vallées du Ségura et du Guadalentin. Cette dernière rivière, affluent de la première, a des caractères torrentiels très fortement prononcés. Les agriculteurs de la plaine de Murcie se sont emparés du lit naturel du torrent sur ses dix derniers kilomètres, et l'ont converti en « huertas » parsemées d'habitations ; les eaux du Guadalentin ont été encaissées depuis longtemps dans un lit artificiel appelé le Régüeron. Au moment des grandes crues, les eaux du Régüeron débordent, la plaine est inondée, et les dégâts dans la Huerta et dans les villages acquièrent souvent les caractères d'une véritable catastrophe.

Dans l'état actuel des choses, il est indispensable d'éviter ces effets des crues d'une manière presque absolue. M. Garcia, en partant des données fournies par les inondations de 1879 et de 1884, a pu fixer approximativement les conditions de ces phénomènes naturels avec une assez grande probabilité ; il a même exagéré les conditions des phénomènes, pour prévenir toute éventualité. Il propose d'augmenter de 15 mètres la hauteur du barrage de Val de Infierno et de déblayer toute la masse des alluvions qui le comblent actuellement. La capacité du réservoir sera portée par cette opération à 56 millions de mètres cubes. Le réservoir de Puente de Lorca, étant supposé aussi déblayé, a une capacité de 51 500 000 mètres cubes, ce qui fait un volume total de plus de 67 millions de mètres cubes.

Les grandes inondations ayant lieu surtout en automne, époque à laquelle les irrigations ont épuisé toute l'eau des réservoirs, ceux-ci doivent se trouver dans les meilleures conditions pour l'emmagasinement du volume des crues. On n'est pas cependant parti d'une telle hypothèse, car on a admis simultanément les maxima des crues et la présence dans les réservoirs de 55 et 40 mètres de hauteur d'eau. Si l'on admet ces hypothèses, le volume de la crue à écouler serait réduit à 400 mètres cubes par seconde.

Pour amoindrir encore cette crue, on va ouvrir sans délai à Totana un canal de décharge, calculé pour un débit de 200 mètres cubes par seconde. Ce canal, sur une longueur de 5 500 mètres, traverse la ligne de faite entre la rivière et la Méditerranée, et débouche dans une large « rambla » (torrent) en communication directe avec la mer.

Pour se débarrasser des 200 mètres cubes par seconde qui restent, et qui causeraient encore de grands dommages dans la Huerta, on élargira le canal Régüeron, de manière à accroître sa portée de ce volume.

Le Régüeron suit à peu près parallèlement le lit du Ségura, et après un trajet de 20 kilomètres, se jette dans cette rivière, sur la rive droite, à 6 kilomètres en aval de la ville de Murcie.

Pour défendre encore plus complètement cette vallée, M. Garcia a projeté la construction de six réservoirs qui devront être construits succes-

sivement et au fur et à mesure des besoins. Un de ces réservoirs sera placé dans le lit du Ségura, et les autres sur ses affluents. Pour le moment on va commencer la construction d'un réservoir sur le lit du Rio Quipar. Ce barrage, de 58 mètres de hauteur, aura une capacité de 59 millions de mètres cubes. Un autre réservoir déjà étudié, avec une digue de 43 mètres de hauteur, formera une retenue de 46 millions de mètres cubes. Toutes ces constructions doivent servir en même temps à régulariser le régime de la rivière et à fournir de l'eau aux irrigations déjà existantes, qui en jouissent maintenant d'une manière insuffisante. M. Garcia estime qu'il pourra étendre par là les irrigations à une superficie de 40 000 hectares.

Madrid, le 10 mars 1892.

2454. — Imprimerie LAURE, 9 rue de Fleurus, à Paris.

V^{ème} CONGRÈS INTERNATIONAL DE NAVIGATION INTÉRIEURE
PARIS 1892

4^{me} QUESTION

LES RÉSERVOIRS

DANS LE MIDI DE LA FRANCE

RAPPORT

PAR

M. MARIUS BOUVIER

Inspecteur général des Ponts et Chaussées et de l'Hydraulique agricole
Délégué de M. le Ministre de l'Agriculture

PARIS

IMPRIMERIE GÉNÉRALE LAHURE

9, RUE DE FLEURUS, 9

1892

LES RÉSERVOIRS

DANS LE MIDI DE LA FRANCE

RAPPORT

PAR

M. MARIUS BOUVIER

Inspecteur général des Ponts et Chaussées et de l'Hydraulique Agricole,
Délégué de M. le Ministre de l'Agriculture.

I. — EXPOSE

Le midi de la France offre des exemples nombreux et intéressants de réservoirs, créés : tantôt, dans un but de navigation intérieure ; tantôt, pour l'alimentation des villes, pour la satisfaction des besoins agricoles et industriels et pour l'atténuation des crues. Le mode de construction de leurs barrages de retenue est assez variable. Situés dans des régions montagneuses et boisées, au milieu des terrains primitifs, où les pluies sont abondantes, les déperditions d'eau très réduites, et où les apports des ruisseaux sont de nature sablonneuse et peu importants, ils y trouvent l'avantage d'obtenir, chaque année, un approvisionnement facile et d'être peu exposés aux envasements ; par contre, ils sont généralement établis dans des vallées à fortes pentes, où les évaselements sont rares et peu étendus, où par conséquent leur capacité, quoique relativement faible, ne peut être obtenue qu'à l'aide de barrages élevés. Aussi a-t-on écarté, pour ceux-ci, le mode de construction en terre, qui ne présente pas une sécurité suffisante lorsque l'ouvrage doit avoir une grande hauteur, et, profitant des facilités offertes par un rocher incompressible pour l'assiette de bonnes fondations, n'a-t-on eu recours qu'aux systèmes de construction, ou mixte, en terre et en maçonnerie, ou, le plus souvent, en maçonnerie seulement.

La montagne du Pilat, qui constitue un éperon transversal, dirigé de l'ouest à l'est, de la chaîne septentrionale des Cévennes, faite séparatif des bassins du Rhône et de la Loire, offrait des conditions particulièrement favorables pour l'établissement de pareils réservoirs. Sa crête se relève en approchant du Rhône et atteint l'altitude de 1 400 mètres ; son versant septentrional est exposé aux fréquents vents du nord-ouest et de l'ouest,

qui viennent y apporter et y résoudre en pluie les vapeurs recueillies à la traversée de l'Océan; son versant méridional reçoit les vents du sud et du sud-est qui y déposent, sous forme de pluies d'orage souvent torrentielles, les vapeurs dont ils se sont chargés à la traversée de la Méditerranée. Les cours d'eau qui en descendent sont, par suite, à certaines époques de l'année, sujets à des écoulements importants. En outre, un plateau assez étendu, couvert de bois de sapins ou de pâturages, règne à son sommet et, chose assez rare dans les terrains granitiques où le rocher imperméable se rencontre généralement à une faible profondeur au-dessous de la surface du sol, il est pourvu d'une couche perméable d'une certaine épaisseur. Elle sert de réceptacle aux infiltrations de la pluie ou de la neige et les restitue, sur les parties déclives des versants, sous la forme de sources, d'une eau limpide, pure et fraîche, qui ne tarissent pas en été. Cette circonstance n'était pas ignorée des Romains, si friands de pareilles eaux, et c'est à ces sources qu'ils s'étaient adressés, quoique la distance et les difficultés du trajet fussent grandes, pour alimenter la ville de Lyon (Lugdunum); on retrouve, sur beaucoup de points, les vestiges de l'aqueduc qu'ils avaient construit dans ce but, dont le système d'arcades est reproduit dans tant d'autres ouvrages de même nature édifiés par eux, et notamment dans ceux, encore partiellement utilisés aujourd'hui, qui leur servaient à conduire à Carthage, après un parcours de 100 kilomètres, les eaux de source de la montagne Zaghouan, en Tunisie. Ces mêmes sources du Pilat, soigneusement captées sur une assez grande étendue, servent aujourd'hui à l'alimentation de la ville de Saint-Étienne.

Ainsi, les ruisseaux qui descendent du mont Pilat offrent, pendant les périodes de pluies ou d'orages, la disponibilité de volumes importants; ils ne tarissent pas en été, grâce aux écoulements des sources du plateau supérieur; ils participent, au point de vue des apports, aux avantages inhérents aux cours d'eau situés dans les régions granitiques et boisées. D'autre part, au pied de la montagne, règne une grande activité industrielle, due soit à l'utilisation de leurs eaux, soit à l'exploitation d'un des principaux bassins houillers de la France; des centres importants, où l'industrie a acquis de grands développements, s'y succèdent à de faibles distances : au pied du versant nord, Givors, Rive-de-Gier, Saint-Chamond, Saint-Étienne; au pied du versant sud, Annonay, Bourg-Argental, Saint-Julien-Molin-Molette. Il n'est donc pas étonnant que cette situation ait déterminé la création sur ces versants d'un groupe remarquable de réservoirs, destinés soit à assurer l'alimentation d'un canal de navigation, celui de Givors, soit à servir de base aux distributions d'eau de plusieurs de ces villes, à desservir leurs industries et à atténuer les crues des cours d'eau sur les bords desquels elles sont établies. Sans parler de ceux dont la conception est encore à l'état de projet et dont la réalisation est plus ou moins prochaine, ils sont déjà au nombre de cinq, qui intéressent, savoir : celui du Couzon, le canal de Givors et la ville de Rive-de-Gier; celui de la

rec 13 may
#185-1900

SOIRÉE DU 31 MARS 1900

1. Prélude pour Piano..... TEN BRINK

MONSIEUR ALFREDO BARBIROLI.

2. a Les Sabéennes..... GOUNOD

- b La Charité..... ROSSINI

CHŒURS CHANTÉS PAR :

MESDAMES LA BARONNE RANDOUIN-BERTHIER,

— LA BARONNE DE POMMEREUIL,

— LINCOLN DE BORNEMAN.

MESDEMOISELLES M. ET L. CHAPLIN, MOORE,

QUATREMAIN, LEGGE, CARLA DAGMAR EDMAN

SOLI :

MESDAMES CHARLES SINGER, ET LA BARONNE

D'AVERNAS-SALVADOR.

3. Rapsodie Norvégienne (1^{re} partie)..... LALO

MADemoiselle CARMEN FORTE.

4. Liebeslied (Walkiire)..... R. WAGNER

MONSIEUR RUDOLF EICCHORN, PREMIER TÉNOR
DU THÉÂTRE-ROYAL DE DRESDE.

5. Gazouillis BARBIROLI

MONSIEUR ALFREDO BARBIROLI.

6. Duo..... MENDELSSOHN

MESDAMES LA BARONNE RANDOUIN-BERTHIER

ET LA BARONNE D'AVERNAS-SALVADOR.

7. Les Phylènes..... G. PALICOT

CHŒUR DIRIGÉ PAR MONSIEUR BARBIROLI.

8. Züngerwiesen..... SARASATE

MADemoiselle CARMEN FORTE.

9. a Liebesglück..... I. SUCHER

- b Non è Ver..... TITO MATTEI

MONSIEUR RUDOLF EICCHORN.

10. PREMIER NUAGE

LE MARI..... MADemoiselle ALICE PARTESS (8 ANS)

LA FEMME..... MADemoiselle RAYMONDE PARTESS (7 ANS)



Rive, la ville de Saint-Chamond ; ceux du Gouffre-d'Enfer et du Pas-du-Riot, la ville de Saint-Étienne ; enfin celui du Ternay, le seul qui soit sur le versant sud, la ville d'Annonay. A l'exception du barrage du Couzon, dont la construction est ancienne et appartient au système mixte en terre et maçonnerie, les autres sont récents et construits en maçonnerie ; l'ordre d'exécution de ces derniers est le suivant : le Gouffre-d'Enfer, 1860-1866 ; le Ternay, 1861-1867 ; la Rive ou le Ban, 1866-1870 ; le Pas-du-Riot, 1873-1878. Le barrage du Gouffre-d'Enfer est donc le premier qui ait été entrepris et il a marqué un progrès considérable dans la construction de ces sortes d'ouvrages. C'est lui qui a inauguré l'application d'un profil rationnel fondé sur les principes de la résistance des matériaux ; combinée : d'une part, avec l'emploi d'excellents moellons granitiques, de sables également granitiques de très bonne qualité, et de chaux éminemment hydraulique ; d'autre part, avec des fondations solidement assises sur un rocher incompressible ; elle a permis de réaliser, sur *le Furan*, en amont de Saint-Étienne, une retenue de 50 mètres de hauteur, au moyen d'un barrage satisfaisant à toutes les conditions de sécurité et comportant cependant une notable réduction dans le cube des maçonneries, partant une grande économie dans les dépenses, par rapport aux ouvrages similaires antérieurement construits, notamment en Espagne. Elle a donc ouvert une voie nouvelle qu'on s'est empressé de suivre de toutes parts, sauf à apporter à la méthode de calcul qui lui avait servi de base quelques corrections reconnues justifiées. C'est ainsi, notamment, que les réservoirs du Ternay, de la Rive et du Pas-du-Riot ont été successivement créés à peu d'intervalle, et que le groupe important des réservoirs du mont Pilat s'est rapidement développé.

A ce groupe, il y a lieu de rattacher, quoiqu'il soit indépendant du Pilat et même de la chaîne des Cévennes, le réservoir de Chartrain, qui vient d'être créé, à peu de distance, sur un affluent rive gauche de la Loire, pour l'alimentation de la ville de Roanne. Son bassin est aussi situé dans les terrains primitifs, d'une nature plus spécialement porphyrique, et le même mode de construction en maçonnerie, fondé sur les mêmes principes de résistance des matériaux, a été adopté pour son barrage de retenue ; seulement, comme c'est un des derniers venus, on a naturellement profité, pour la détermination de son profil, des perfectionnements apportés à la méthode de ces calculs et, sous ce rapport, comme aussi par son importance, il offre un intérêt spécial.

A partir de cette zone, en descendant vers le sud de la France, on ne rencontre plus, dans la région des Cévennes et tout à fait à l'extrémité de la chaîne méridionale, que les réservoirs de Saint-Ferréol et de Lampy, créés depuis fort longtemps pour l'alimentation du canal du Midi. Ils sont établis l'un et l'autre sur les versants de la montagne Noire, qui termine cette chaîne et qui vient mourir au col de Naurouze, point séparatif des Cévennes Méridionales et des Corbières Occidentales, où passe le canal du

Midi et où aboutit la rigole alimentaire qui emprunte l'eau de ces réservoirs. Le barrage du premier appartient au système de construction mixte en terre et maçonnerie ; celui du second est en maçonnerie seulement.

Enfin, plus au sud et dans la région pyrénéenne, se trouve le réservoir du lac d'Orédou, de création récente, destiné à concourir, avec d'autres réservoirs projetés ou en cours d'exécution, à la réalisation d'un vaste projet d'aménagement des eaux de la Neste, détournées sur le plateau de Lannemezan, au moyen d'un canal dont la portée est de 7 mètres cubes par seconde, et distribuées entre les divers cours d'eau qui prennent naissance à ce plateau, dans le but de desservir, sur le territoire des cinq départements de la Haute-Garonne, de Tarn-et-Garonne, de Lot-et-Garonne, du Gers et des Hautes-Pyrénées, les intérêts multiples de l'alimentation des populations, de l'irrigation, de l'industrie et de la navigation. L'altitude de ce réservoir, dont le plan d'eau supérieur est à 1869 mètres au-dessus du niveau de la mer, son alimentation par la fonte des neiges et par les écoulements de lacs supérieurs, enfin le mode de construction de son barrage de retenue par l'emploi simultané d'un remblai purgé à grande eau des matières terreuses et de perrés de revêtement, lui donnent un caractère particulièrement intéressant.

Tels sont les réservoirs du midi de la France dont la description a paru mériter d'être donnée dans ce rapport. Pour rester dans les limites du cadre adopté par la commission d'organisation du congrès, elle a dû être restreinte à des lignes générales et sommaires, mais elle a été accompagnée de renseignements propres à faire ressortir, dans ce qu'ils ont d'essentiel, les résultats obtenus et les faits révélés par l'expérience. Dans ces termes, elle sera sans doute suffisante pour qu'on puisse apprécier les conditions principales de l'établissement et du fonctionnement de ces ouvrages, et pour qu'on puisse en déduire quelques enseignements utiles.

II. — DESCRIPTIONS ET RENSEIGNEMENTS

Réservoir du Couzon.

Objet et époque de la création. — Ce réservoir, établi sur le ruisseau du Couzon, a été entrepris par la Compagnie du canal de Givors, en vertu d'une ordonnance de décembre 1788, et a eu pour but de suppléer à l'insuffisance de la rivière du Gier pour l'alimentation de ce canal. Les travaux en ont été commencés en 1789 et ont été terminés seulement en 1812 ; il a été mis en eau en 1811. Le canal de Givors et ses dépendances ayant été rachetés par l'État, en vertu de la loi du 16 août 1886, le réservoir fait actuellement partie du domaine public. La même loi a autorisé la ville de Rive-de-Gier à lui emprunter provisoirement un volume d'eau de 3 000 mètres cubes par jour et il y a été pourvu au moyen de l'éta-

blissement sur la rigole d'écoulement, à l'aval du barrage, d'un déversoir à mince paroi, donnant lieu à un débit normal de 54 lit. 72 par seconde.

Dispositions générales. — Le barrage ferme la vallée sur une largeur en couronne de 220 mètres et opère une retenue de 51 mètres de hauteur. Il se compose d'un mur en maçonnerie transversal de 6 m. 82 d'épaisseur à la base et de 5 m. 20 au sommet, consolidé en amont et en aval par des remblais. Les remblais d'amont s'élèvent à 21 mètres de hauteur contre le parement du mur et ont 47 mètres d'épaisseur; ils sont retenus, sur l'autre face, par un mur en maçonnerie de 10 mètres de hauteur maxima et de 4 mètres d'épaisseur moyenne. Les remblais d'aval s'élèvent contre le parement du mur jusqu'au niveau de son couronnement, ont 55 mètres d'épaisseur, et sont retenus par un mur de pied de 18 m. 50 de hauteur et de 5 mètres d'épaisseur moyenne. Le massif a ainsi une épaisseur totale à la base de 117 m. 77.

Le déversoir est établi latéralement sur la rive gauche; il a 13 m. 50 de longueur et est dérasé au niveau fixé pour la retenue, soit à 0 m. 53 en contre-bas du couronnement du barrage; il écoule ses eaux dans un canal de décharge, qui vient déboucher dans le lit du Couzon à l'aval du barrage. La vidange s'opère au moyen de deux tuyaux en fonte, qui traversent le mur central, vers sa partie inférieure, à 3 m. 25 en contre-haut du fond de la vallée. Ces tuyaux sont munis, à la sortie de cette traversée, de robinets auxquels on accède par une galerie en maçonnerie percée dans le remblai d'aval et présentant 5 m. 20 de hauteur sur 5 mètres de largeur. L'eau qui s'échappe des robinets tombe dans une seconde galerie, établie au-dessous de la précédente, de 5 m. 98 de hauteur sur 5 mètres de largeur, et s'écoule par une rigole. A l'amont les tuyaux débouchent dans une galerie supérieure, qui surmonte également une galerie inférieure, et elles offrent l'une et l'autre les mêmes dimensions que les précédentes. Pour dégager les vases, on a ménagé dans le mur central, au niveau du radier des galeries inférieures, une ouverture de 2 mètres sur 2 mètres fermée par une vanne en bois; lorsqu'on lève cette vanne, toute la galerie inférieure d'amont, où les vases tendent à s'accumuler, est rapidement déblayée.

Renseignements divers. — Le bassin de réception, qui s'étend jusqu'au sommet du Pilat, est de 2 500 hectares. La capacité du réservoir est de 1 600 000 mètres cubes, correspondant à une surface du plan d'eau supérieur de 15 hectares; la dépense d'exécution s'est élevée à 1 258 000 francs; le prix du mètre cube de capacité utile est donc revenu à 0 fr. 77.

Le système de construction adopté pour le barrage et consistant dans l'emploi combiné de la terre et de la maçonnerie, n'a pas donné, malgré l'apparence de résistance du massif ainsi constitué et l'établissement des fondations des murs sur le rocher granitique, des résultats complètement satisfaisants. Le mur placé au milieu de ce massif avait pour but de créer une espèce d'écran destiné à empêcher les filtrations de se produire dans

les remblais d'aval ; mais ce mur, qui avait été établi en ligne droite, a fléchi et présente une courbure très sensible ; il en est résulté des fissures qui laissent échapper une quantité d'eau considérable, dont le débit, jaugé en 1885, n'a pas été trouvé, lorsque le réservoir est plein, moindre de 65 litres par seconde.

Réservoir du Gouffre-d'Enfer.

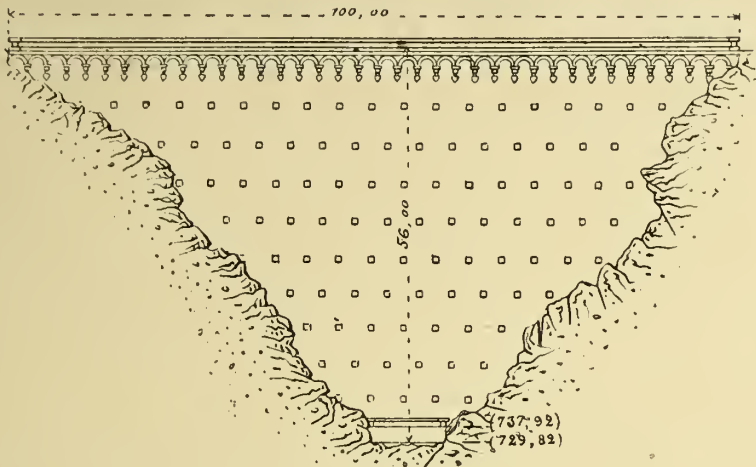
Objet et époque de la création. — Le réservoir est établi sur le Furan ou Furens qui, descendant du plateau supérieur du Pilat, traverse Saint-Étienne, en desservant de nombreuses usines, soit à l'extérieur, soit à l'intérieur de la Ville, et qui est sujet à des crues dangereuses. Cette création a eu le double but de restituer à la rivière le volume qui lui était enlevé pendant l'été par le captage, au profit de la distribution de Saint-Étienne, des sources du plateau et de protéger cette ville contre les inondations. Les travaux, commencés en 1861, ont été terminés en 1866.

Dispositions générales. — Le barrage a été construit, dans la partie supérieure de la vallée, en un point où elle est resserrée entre des rochers granitiques très élevés, au lieu dit le Gouffre-d'Enfer, près de Rochetaillée. Il opère une retenue de 50 mètres de hauteur et son couronnement, disposé suivant un arc de cercle convexe vers l'amont, dont le rayon horizontal a 252 m. 50 sur l'axe de la voie charretière qui le termine, n'a que 100 mètres de longueur entre les extrémités des parapets. Il est formé d'un mur de garde de 3^m.02 d'épaisseur au sommet et dérasé, à l'altitude 785,82, à 2 mètres au-dessus du niveau de la retenue ; ce mur se termine à l'amont par une plinthe en encorbellement et à l'aval par une série d'arcades en saillie, qui permettent de donner à la voie charretière, entre les parapets ainsi supportés, une largeur de 2 m. 92 et d'ornementer le couronnement de l'ouvrage. Sauf une saillie du côté amont à la partie supérieure et les saillies inférieures du massif de base, le barrage est profilé suivant des lignes droites ou des courbes tangentes, qui en augmentent progressivement l'épaisseur, assez faiblement à l'amont et assez rapidement à l'aval, de manière à maintenir les pressions subies par les maçonneries dans de justes limites, tout en évitant de donner à la construction une forme massive et coûteuse, plus nuisible qu'utile à la résistance.

Les épaisseurs sont ainsi, successivement, de 3 m. 02 au sommet, de 6 m. 57 à 5 mètres au-dessous de la retenue, de 42 m. 17 au pied de la partie profilée et de 49 m. 08 au niveau du massif de base. Sauf la partie appareillée du sommet et les angles des saillies, toute la masse est en maçonnerie ordinaire, très soigneusement exécutée avec des moellons granitiques très résistants, des sables granitiques très purs et la chaux éminemment hydraulique du Theil ; la proportion adoptée pour la fabrica-

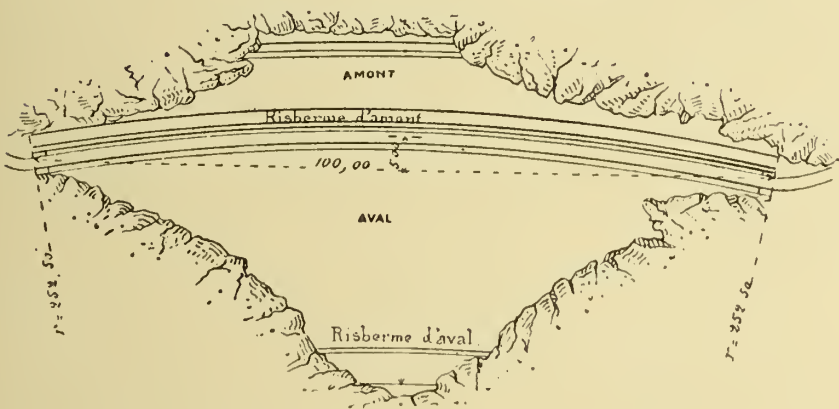
tion du mortier est de 375 kilogrammes de chaux blutée par mètre cube de sable et les fondations sont solidement encastrées dans le rocher.

Dans le but de ne pas affaiblir la solidité du barrage, la vidange s'opère par un tunnel maçonné, de 185 mètres de longueur, percé dans le contre-



Barrage du Gouffre-d'Enfer (Furan). — Élévation d'aval.

fort de la rive droite, de 2 mètres de hauteur sur 1 m. 80 de largeur, et débouchant dans le réservoir à 8 mètres en contre-haut du fond. Il ren-



Barrage du Gouffre-d'Enfer (Furan). — Plan.

ferme trois conduites en fonte : deux de 40 centimètres de diamètre, scellées à 95 centimètres au-dessus du radier sur des consoles en fer et destinées aux écoulements, une de 216 centimètres de diamètre reposant sur le radier et destinée à évacuer les vases du bassin où s'opère la prise des eaux. Ces conduites traversent, à leur origine, un bouchon en maçonnerie de 11 mètres d'épaisseur, dans lequel elles sont encastrées ; elles sont munies,

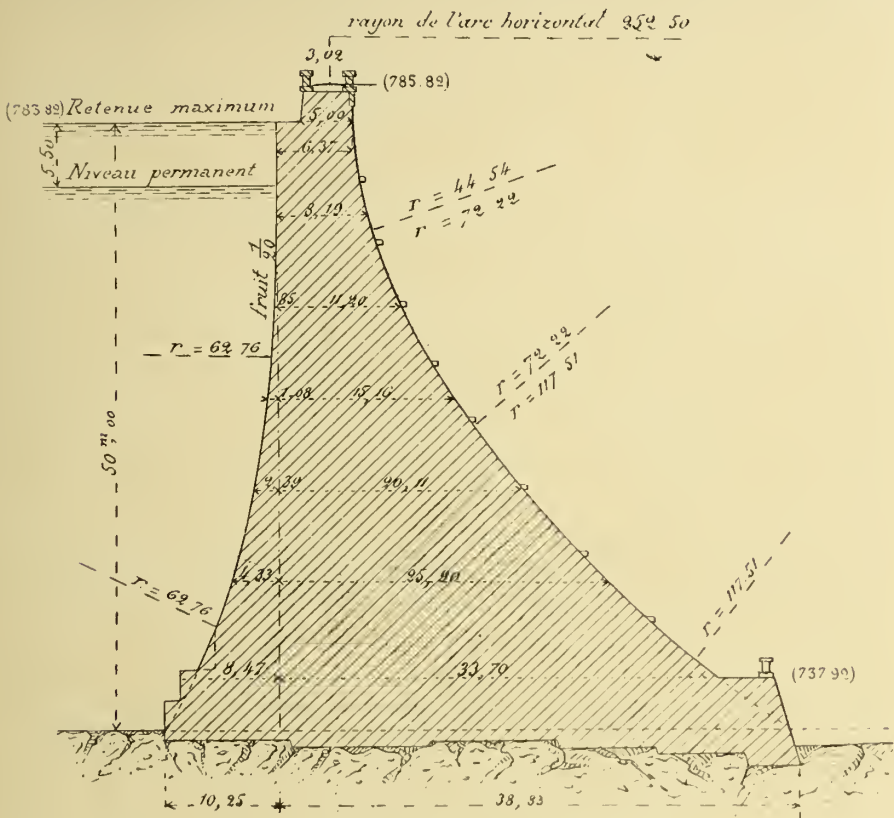
à l'amont, de valves qui se manœuvrent du sommet et, à l'aval, d'un double jeu de robinets-vannes, placés les uns à la sortie du bouchon et les autres vers l'issue du tunnel.

Les autres ouvrages principaux se composent : d'un canal de dérivation creusé dans le flanc droit de la vallée, capable de débiter le volume de 90 mètres cubes, jugé inoffensif au point de vue des inondations, ayant sa prise sur le Furan à 450 mètres en amont du remou du réservoir et écoulant ses eaux dans la rivière, par chutes successives, à l'aval du barrage ; d'un tunnel de décharge supérieur, percé dans le même contrefort que celui de vidange inférieur, ayant son seuil dans le réservoir à 5 m. 50 en contre-bas de la retenue maxima, fermé par une vanne en tôle et débouchant dans le canal de dérivation ; enfin d'une ventellerie placée au départ de ce canal et permettant d'y diriger les eaux du Furan ou de les écouler directement dans le réservoir. Le canal de dérivation est muni, sur sa rive gauche, d'un déversoir de 20 mètres de longueur, dérasé au niveau de la retenue maxima, qui lui permet de recevoir le trop-plein des eaux du réservoir et d'empêcher que ce niveau ne soit dépassé. La capacité correspondante à la tranche d'eau de 5 m. 50 au-dessus du seuil du canal de décharge supérieur est de 400 000 mètres cubes ; elle est tenue libre et affectée au service des inondations, c'est-à-dire qu'elle doit recevoir, dans les grandes crues, tout le volume de la rivière excédant le débit jugé inoffensif de 90 mètres cubes. Le jeu de la ventellerie d'amont sert à opérer la distribution du volume de la crue entre le canal de décharge et le réservoir ; après la crue, l'ouverture de la vanne du tunnel de décharge supérieur sert à évacuer les eaux emmagasinées et à rétablir la capacité libre de 400 000 mètres cubes. Il en résulte que, le volume total du réservoir étant de 1 600 000 mètres cubes, 1 200 000 mètres cubes seulement constituent l'approvisionnement proprement dit, affecté à la restitution au Furan du volume destiné aux usines inférieures ; la hauteur de la retenue permanente correspondant à cet approvisionnement est donc de 44 m. 50.

Renseignements divers. — Ces dispositions, habilement conçues et très bien-exécutées, font du réservoir du Gouffre-d'Enfer, malgré sa faible capacité, et de la distribution d'eau à laquelle il se rattache, un travail de tous points remarquable. Mais ce qui le caractérise surtout, c'est l'innovation qu'il a introduite dans le mode de construction et dans la détermination du profil des barrages de retenue, fondée sur la constitution de massifs sensiblement homogènes en simple maçonnerie ordinaire, et sur le calcul des pressions subies par cette maçonnerie d'après l'hypothèse de leur répartition, plausible en pareil cas, connue sous le nom de loi trapézoïdale. Les formules employées ont fait ressortir une pression maxima par centimètre carré sur le parement d'aval de 6 kilogr. 50 ; en réalité, en tenant compte des corrections dont leur application a été reconnue depuis devoir être l'objet, cette pression mérite d'être évaluée

à 9 kilom. 40, mais, avec les matériaux employés et les soins apportés à la construction, elle ne saurait inspirer aucune crainte.

Le bassin de réception, qui s'étend jusqu'au sommet du Pilat, est de 2 500 hectares; la capacité du réservoir est de 1 600 000 mètres cubes, correspondant à une surface du plan d'eau supérieur de 12 hect. 68; la dépense d'exécution s'est élevée à 1 590 000 francs; le prix du mètre cube de capacité utile est donc revenu à environ 1 franc.



Barrage du gouffre d'Enfer (Furan). — Profil.

Malgré les soins apportés à l'exécution des maçonneries, les filtrations se sont fait jour à travers le barrage et y ont provoqué des efflorescences calcaires sur le parement d'aval; mais leur volume est resté toujours très limité et il n'atteint pas aujourd'hui 1/2 litre par seconde.

Les prévisions admises au point de vue de la protection de la ville de Saint-Étienne se sont réalisées et les crues du Furan ont été ramenées au débit maximum de 90 mètres cubes par seconde. Il n'en a pas été de même au point de vue de l'alimentation ; les captages de sources n'ont pas donné les résultats espérés et les besoins se sont accrus. Pour y faire face on a dû, à certains moments, faire des emprunts directs à l'approvisionnement.

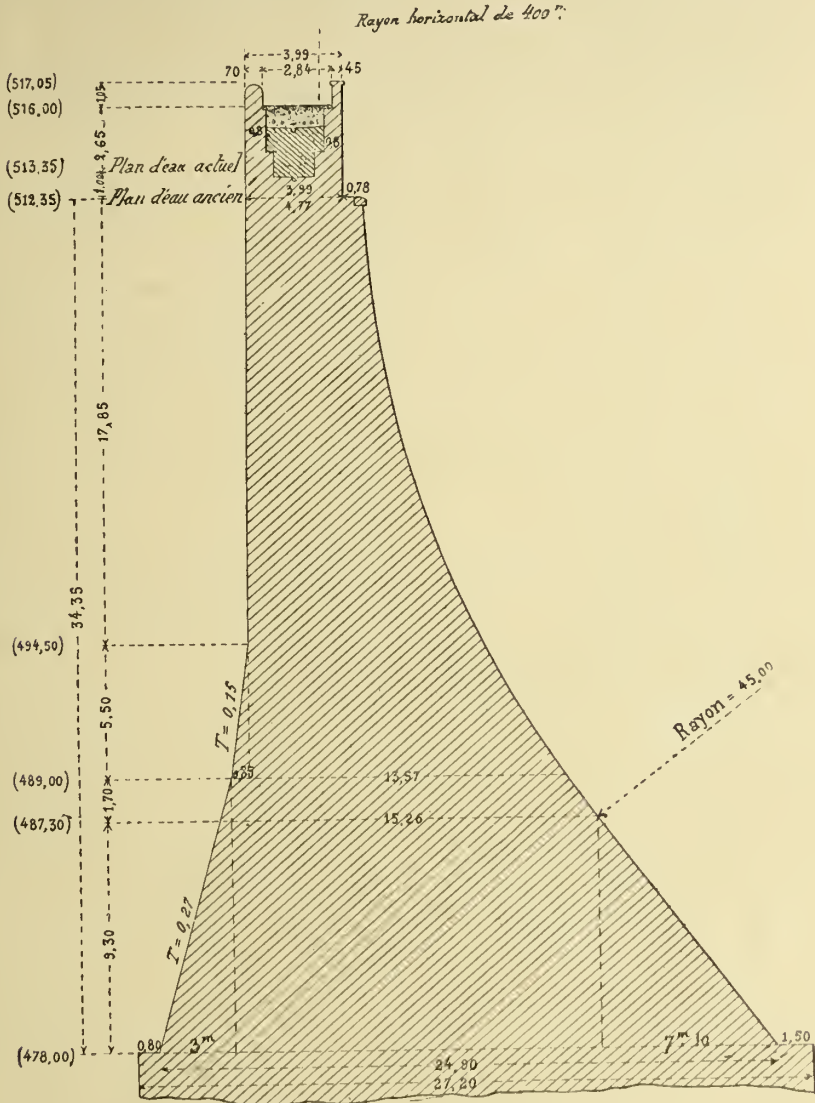
ment proprement dit et les joindre au débit des sources; il en est résulté des difficultés avec les usiniers. L'expérience a, en outre, révélé ce fait que pour conserver aux eaux du réservoir les qualités nécessaires à des eaux d'alimentation, il fallait y laisser s'écouler d'une manière constante, en totalité ou en partie, les eaux de la rivière; le canal de dérivation, qui était destiné à empêcher l'envasement du réservoir en écoulant directement à la rivière les eaux troubles, a perdu ainsi beaucoup de son utilité; d'ailleurs, l'expérience a démontré qu'en raison de la nature du bassin, les dépôts laissés par ces eaux n'avaient pas d'importance.

Barrage du Ternay.

Objet et époque de la création. — Ce réservoir a été établi sur le ruisseau du Ternay, un des affluents principaux de la rivière de la Deûme, qui traverse la ville d'Annonay et alimente de nombreuses usines, notamment d'importantes papeteries. Il a eu pour but d'accroître le volume des eaux de la rivière pendant l'été au profit de ces papeteries, de fournir à Annonay l'eau nécessaire à l'alimentation de ses habitants et au service de ses nombreux établissements de mégisserie, enfin d'atténuer, pour cette ville, les effets des inondations. L'eau qui lui est empruntée est jetée directement dans le ruisseau et est aussitôt employée à l'irrigation des prairies riveraines; à 2 kilomètres plus bas, une galerie filtrante, placée transversalement à la vallée et reposant sur le rocher, qui est recouvert par une couche d'arène granitique perméable de 4 mètres d'épaisseur en moyenne, arrête les infiltrations provenant de ces irrigations et donne naissance à une espèce de source artificielle, dont la puissance de débit a été trouvée de 100 litres par seconde; un volume de 60 litres est prélevé sur ce débit pour la distribution d'Annonay; le surplus des écoulements superficiels ou souterrains va rejoindre la rivière principale et accroître son débit. Par le jeu naturel des écoulements, la plus grande partie de la capacité du réservoir est vide à la fin de l'été, au moment même où se produisent dans le département de l'Ardèche les pluies d'orages, qui y sont la cause des inondations. Ce réservoir est, par conséquent, apte à recevoir tout le volume du Ternay pendant la courte durée de ces pluies d'orages et il en décharge la rivière principale, dont il atténue l'intensité de la crue. Sa construction a été inspirée par celle du réservoir voisin du Gouffre-d'Enfer; commencée en 1861, elle a été achevée en 1867.

Dispositions générales. — Le barrage a été placé en un point de la vallée resserré par des rochers granitiques, à l'aval d'un épanouissement. Il opère une retenue de 55 m. 55 de hauteur et son couronnement, disposé suivant un arc de cercle convexe vers l'amont, dont le rayon horizontal a 400 mètres sur l'axe de la voie charretière qui le termine, a 161 mètres de longueur entre les extrémités des parapets; il se compose :

1° D'un massif rectangulaire supérieur formant mur de garde et placé à l'aplomb de la face verticale, amont du barrage : ce massif a 3 m. 65 de hauteur et 5 m. 99 d'épaisseur, il supporte la voie charretière, qui a 2 m. 84 de largeur entre parapets et qui est arasée à l'altitude 516 m.



2° Du corps du barrage proprement dit dont la hauteur au-dessus du massif de fondation est de 34 m. 35 et l'épaisseur au sommet, en saillie de 0 m. 78 sur le parement aval du mur de garde, de 4 m. 77.

Cette seconde partie est délimitée :

A l'amont, par un parement polygonal formé d'une partie verticale de 17 m. 85 de hauteur et de deux parties inclinées ayant l'une 5 m. 50 de hauteur avec un talus de 0 m. 85, l'autre une hauteur de 11 mètres avec un talus de 3 mètres;

A l'aval, par une courbe circulaire décrite avec un rayon de 45 mètres, continuée à partir de 9 m. 50 au-dessus de la base, par une tangente dont la projection horizontale est de 7 m. 10;

3° Enfin, d'un massif, encastré dans les rochers granitiques, servant de base à l'ouvrage, dont la saillie est de 0 m. 80 sur l'arête inférieure du parement d'amont et de 1 m. 50 sur celle d'aval.

L'épaisseur est de 24 m. 90 au pied du corps du barrage proprement dit et de 27 m. 20 pour le massif de base.

Le plan d'eau supérieur primitivement fixé au niveau de la saillie supérieure, à l'altitude 512,55, a été relevé, ces dernières années, de 1 mètre et arrêté à l'altitude 515,55; la cote de fond à l'amont étant à l'altitude de 478 mètres, la hauteur de la retenue définitive est ainsi de 55 m. 55.

Sauf la galerie de vidange et les bahuets ou cordons du couronnement, toute la construction a été faite en moellons granitiques avec sable de même nature et chaux blutée éminemment hydraulique des fours du Theil ou de Cruas, la proportion de chaux par mètre cube de sable étant de 400 kilogrammes.

Les autres ouvrages principaux se composent : d'une galerie de vidange inférieure, d'un canal de décharge avec déversoir et vannes de vidange supérieures, d'un petit barrage exécuté dans un étranglement de la partie amont du réservoir et d'un chemin de ceinture.

La galerie de vidange a été ménagée dans le corps même du barrage, sur la rive gauche, et a été exécutée en pierres smillées granitiques de grandes dimensions assemblées au mortier de ciment. Les difficultés de son exécution ont été accrues par la direction biaise qu'elle a reçue par suite de la configuration des lieux, elle a 2 mètres de largeur sur 5 m. 50 de hauteur; elle est traversée de distance en distance par de grandes pierres de taille encastrées dans ses piédroits et dans son radier, sur lesquelles sont scellées, par de fortes brides en fer, deux tuyaux de vidange, de 0 m. 40 de diamètre. Du côté du réservoir, ceux-ci traversent un bouchon en maçonnerie de ciment de 6 m. 40 d'épaisseur, disposé par redans successifs; à l'aval, ils débouchent dans un bassin allongé terminé par une vanne à cadran qui permet de mesurer les débits; ils sont munis d'un double jeu de robinets-vannes; une galerie descendante, normale au parement et placée dans le même plan vertical que la galerie de vidange, permet d'accéder à celle-ci au moyen d'escaliers disposés sur un massif de maçonnerie que traversent les tuyaux, avant de déboucher dans le bassin d'aval.

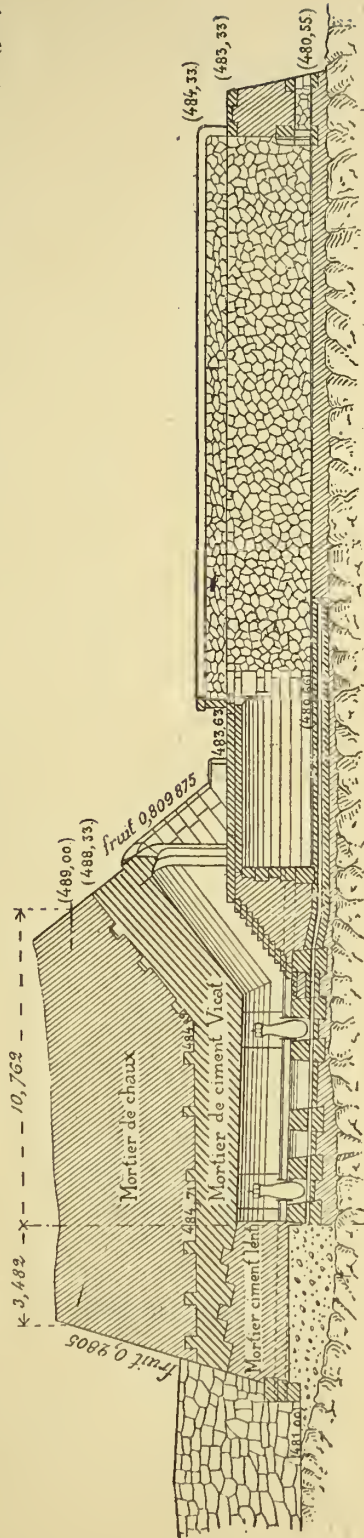
Le canal de décharge ne règne que sur 60 mètres à l'amont du barrage, il est creusé dans les rochers de la rive droite et est séparé du réservoir par un déversoir dérasé au niveau de la retenue; il passe sous la voie charrettière au

moyen d'un pont placé en prolongement de mur de garde. A l'issue de ce pont débouchent dans le canal deux aqueducs, qui traversent le corps du barrage et dont le seuil est à 6 m. 25 en contre-bas du niveau de la retenue; ils sont fermés à l'amont par deux vannes métalliques qui se manœuvrent de la voie charretière et ils sont destinés à permettre d'évacuer rapidement, pour le cas où cela serait utile, un volume de 1 500 000 mètres cubes. Au delà, le canal de décharge descend en cascade jusqu'à la rivière.

Le petit barrage d'amont a 10 m. 50 de hauteur et est destiné à arrêter les dépôts dans la partie supérieure du réservoir; il est muni d'une vanne qui ne se manœuvre qu'en basses eaux.

Le chemin de ceinture contourne tout le réservoir sur environ 5 kilomètres; il est pourvu de perrés qui permettent de créer une profondeur d'eau immédiate d'au moins 1 mètre, de manière à empêcher toute végétation aquatique sur les bords, et contre lesquels viennent battre les vagues; en outre, dans le même but d'assainissement, son accotement, du côté de l'eau, est complanté en cèdres du Liban; à l'extrémité amont du réservoir, ce chemin traverse le ruisseau sur un pont en charpente. Sur tout son pourtour, les ravins rencontrés sont barrés par des massifs en pierre sèche, qui retiennent leurs apports, enlevés ensuite en temps utile.

Renseignements divers. — Par suite du relèvement du plan d'eau de 1 mètre, la pression maxima par centimètre carré sur le parement d'aval qui, d'après les formules rectifiées, étaient de 9 kilog. 30, a été portée à 12 kilogrammes.



Barrage du Ternay. — Galerie de vidange

Le bassin de réception, qui s'étend jusqu'au sommet du Pilat, est de 2 800 hectares ; la surface du plan d'eau est de 30 hectares ; la capacité du réservoir de 3 000 000 mètres cubes, la dépense totale s'est élevée à 1 020 000 francs, le prix du mètre de capacité utile est donc revenu à 0 fr. 34.

Bien que le parement amont du barrage ait été d'abord rejointoyé au mortier de ciment et recouvert ensuite d'une chemise avec ce même mortier, les suintements se sont fait jour à travers la maçonnerie et ont apparu sur le parement aval, où ils ont déterminé une couche assez épaisse d'efflorescences calcaires ; il a même été constaté que cette couche continuait encore à se former et on l'a vue se renouveler après un nettoyage partiel opéré en 1887. En outre, deux traces de cassure presque imperceptibles ont apparu sur le parement aval, vers les extrémités du barrage et dans une position à peu près symétrique ; elles paraissent dues à un léger tassement des fondations de la maçonnerie d'aval, ou peut-être à une action de retrait des maçonneries, déterminée par la longueur de l'ouvrage ; elles ne sont pas visibles sur le parement d'amont et se traduisent par des suintements constants sur le parement d'aval. Le volume des infiltrations est d'ailleurs très faible et n'atteint pas un litre par seconde dans toute l'étendue de l'ouvrage. Il a sensiblement diminué depuis l'origine et paraît tendre à s'atténuer de plus en plus.

Le réservoir rend de grands services à la ville d'Annonay ; il assure d'une manière régulière son alimentation, à laquelle se rattache celle de son importante industrie de mégisserie, autrefois très gravement menacée par l'état d'impureté de plus en plus accentué des eaux de la Deûme, auxquelles elle était obligée de recourir ; dans le but de fournir un volume d'infiltration suffisant à la galerie de recueillement, le minimum de ses écoulements ne descend pas au-dessous de 100 litres par seconde. Au point de vue de l'accroissement des débits de la Deûme pendant la période d'étiage, on éprouve des difficultés à faire l'emploi le plus judicieux de l'approvisionnement, parce que les époques de cette période, sa durée et l'intensité de la sécheresse, quoique obéissant à certaines règles générales, sont variables et qu'on ne peut pas les prévoir avec assez de certitude pour faire exactement coïncider avec elles les écoulements ; il en résulte des plaintes de la part des usiniers qui, ayant contribué à la dépense d'établissement du réservoir, demandent à profiter de la manière la plus utile de son approvisionnement : c'est là une question depuis longtemps mise à l'étude ; tous les faits qui s'y rapportent sont traduits par des états graphiques, au moyen desquels on s'efforce d'arriver à la solution la plus satisfaisante.

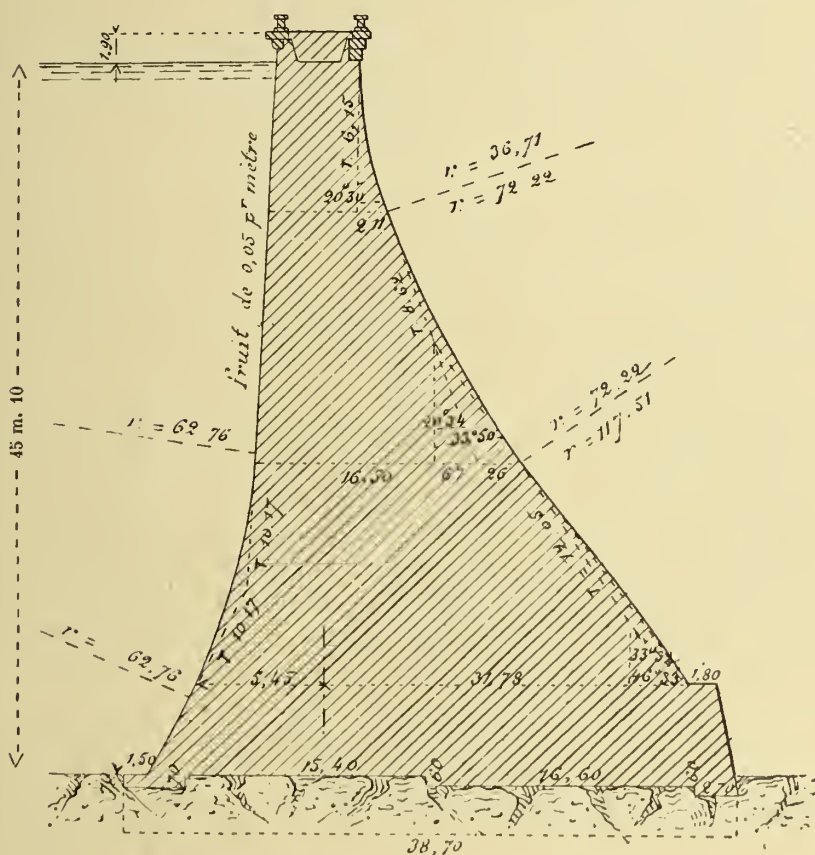
En ce qui concerne l'atténuation des crues, les effets utiles du réservoir ne sont pas douteux, mais la croyance populaire tend à les exagérer, et c'est ce qu'elle a fait notamment lors des terribles inondations de septembre 1890, qui ont ravagé le département de l'Ardèche ; elle leur a

attribué, à tort, une part prépondérante dans l'innocuité de la crue de la Deume, due surtout à ce que le bassin de cette rivière a été relativement épargné par les pluies d'orages survenues à cette époque.

Réservoir de la Rive ou du Ban.

Objet et époque de la création. — Ce réservoir a été établi sur le Ban, affluent du Gier, pour régulariser le jeu des usines du Gier et fournir des eaux potables à la ville de Saint-Chamond. Commencé en 1866, il a été terminé en 1870.

Dispositions générales. — Le barrage, construit dans un point resserré



est de 404 mètres. Son épaisseur au sommet est de 4 m. 90 et il est profilé, comme celui du Gouffre-d'Enfer, suivant des lignes droites ou des courbes tangentes qui se terminent au massif de base, dont l'épaisseur à la base des fondations est de 58 m. 70. Son profil a été déterminé par la même méthode, de manière à maintenir les pressions subies par les maçonneries dans de justes limites. L'exécution de celles-ci a été faite avec les mêmes précautions et les mêmes éléments, sauf que les moellons employés ont été d'une nature schisteuse médiocre.

Dans le but de ne pas altérer la solidité de l'ouvrage, la vidange s'opère également par un tunnel maçonné de 60 mètres de longueur, percé dans le contrefort de la rive gauche, dont le seuil, à son débouché dans le réservoir, est à 9 mètres au-dessus du fond. Il a reçu deux tuyaux en fonte de 0 m. 40 de diamètre, qui sont, à l'origine, encastrés dans un long bouchon en maçonnerie de 28 m. 27 de longueur et qui sont munis de robinets-vannes servant à régler les écoulements. L'un débouche directement dans le réservoir et sert à donner un débit de 50 litres à la rivière pour l'alimentation des usines. L'autre est destiné à la distribution de Saint-Chamond, dont la consommation journalière est de 12 000 mètres cubes et, afin de clarifier les eaux qu'il débite, il est alimenté en tête par un aqueduc de 1 m. 40 de largeur sur 1 m. 50 de hauteur, dont la voûte percée de trous est recouverte d'une couche de pierres et graviers de 2 mètres d'épaisseur, à travers laquelle les eaux du réservoir filtrent avant d'arriver jusqu'à lui.

Le déversoir de superficie, dérasé au niveau de la retenue, est établi sur la rive droite de la vallée, immédiatement à l'amont du barrage, et à 50 mètres de longueur, il déverse le trop-plein des eaux dans un canal de décharge qui va rejoindre le lit du Ban à l'aval du barrage.

Renseignements divers. — Les formules employées pour les calculs de résistance des maçonneries sont les mêmes que celles du Gouffre-d'Enfer, sauf que la limite de pression admise ici a été portée à 8 kilogrammes par centimètre carré ; en réalité, en tenant compte des corrections à apporter à l'application de ces formules, la pression maxima par centimètre carré sur le parement d'aval atteint 11 kilogrammes.

La surface du bassin de réception est de 1800 hectares, sur lesquels il tombe annuellement en moyenne une hauteur d'eau de 0 m. 80, représentant un volume de 14 400 000 mètres cubes. L'expérience a démontré que sur ce volume annuel, il n'en arrive que 65 pour 100 au thalweg, soit 9 560 000. Le remplissage du réservoir s'effectue deux fois par an : la première fois à la suite des pluies d'automne, la deuxième à la suite de la fonte des neiges.

La capacité du réservoir est de 1 850 000 mètres cubes, correspondant à une surface du plan d'eau supérieur de 18 hectares ; la dépense d'exécution s'est élevée à 950 000 francs : le prix du mètre cube de capacité utile est donc revenu à 0 fr. 50.

Les filtrations sont assez importantes ; lorsque les eaux atteignent le niveau du déversoir, elles ne sont pas moindres de 1 000 mètres cubes par 24 heures, soit de plus de 10 litres par seconde.

Les eaux recueillies, comme celles des autres réservoirs du Pilat et en général toutes celles qui proviennent des bassins granitiques, ont chimiquement une grande pureté et conviennent merveilleusement à la teinture ; elles ont aussi l'avantage de ne pas produire d'incrustations dans les chaudières ; leur emploi a donné un grand essor au développement de l'industrie à Saint-Chamond.

Réservoir du Pas-du-Riot.

Objet et époque de la création. — Ce réservoir est établi sur le Furan, à 2 kilomètres environ en amont de celui du Gouffre-d'Enfer, dont il est destiné à compléter l'approvisionnement, reconnu insuffisant. Commencé en 1875, il a été terminé en 1878.

Dispositions générales. — Le barrage, construit dans un étranglement de la vallée, opère une retenue de 33 m. 50 et son couronnement arasé à 1 mètre au-dessus du niveau de la retenue et formant chaussée, est disposé suivant un arc de cercle convexe vers l'amont, dont le rayon horizontal est de 350 mètres. Son épaisseur au sommet est de 4 m. 90 et il est profilé, comme celui du Gouffre-d'Enfer, suivant des lignes droites ou des courbes tangentes, qui portent la largeur de sa base au niveau du sol de la vallée à 21 m. 86 et qui ont été déterminées par la même méthode de manière à maintenir les pressions subies par les maçonneries dans de justes limites. L'exécution de celles-ci a été faite avec les mêmes éléments et avec les mêmes précautions.

Dans le but de ne pas altérer la solidité de l'ouvrage, la vidange s'opère aussi par un tunnel maçonné de 74 mètres de longueur percé dans le contrefort de la rive droite, dont le seuil, à son débouché dans le réservoir, est à 8 m. 40 au-dessus du fond. Il a reçu deux tuyaux en fonte de 0 m. 40 de diamètre, qui sont, à l'origine, encastrés dans un bouchon en maçonnerie de 10 mètres d'épaisseur et qui sont munis de robinets-vaunes servant à régler les écoulements.

Le déversoir de superficie, dérasé au niveau de la retenue, est établi sur la rive gauche de la vallée, immédiatement à l'amont du barrage, et a 30 mètres de longueur ; il déverse le trop-plein des eaux dans un canal de décharge qui les conduit au Furan par des cascades successives.

Renseignements divers. — Les formules employées pour les calculs de résistance des maçonneries ont fait ressortir une pression maxima par centimètre carré sur le parement d'aval de 7 kil. 50 ; en réalité, en tenant compte des corrections qu'elles comportent, cette pression mérite d'être évaluée à 10 kilogrammes.

Le bassin de réception a, à peu de chose près, la même surface que

celui du Gouffre-d'Enfer ; la surface du réservoir est de 13 hect. 73, et sa capacité, qui est de 1 500 000 mètres cubes, est facilement remplie chaque année, tout en laissant écouler un volume plus que suffisant pour le service des usines immédiatement inférieures et pour le remplissage du réservoir du Gouffre-d'Enfer. La dépense d'exécution s'est élevée à 1 280 000 francs ; le prix du mètre cube de capacité utile est donc revenu à 1 franc, comme pour ce dernier.

Réservoir de Chartrain.

Objet et époque de la création. — Ce réservoir est établi sur le ruisseau de la Tâche, affluent de la rivière de Renaison qui se jette dans la Loire à Roanne. Il est situé, sur la rive gauche de la Loire, à l'extrémité orientale du massif granitique central, dans une des gorges des monts de la Madeleine qui sont formés par un chaînon porphyrique issu de ce massif. Sa création a pour objet l'alimentation de la ville de Roanne ; la hauteur donnée à sa retenue permet de lui emprunter les eaux destinées à cette alimentation à une grande profondeur, de façon qu'elles aient une qualité équivalente à celle des eaux des grands lacs ; son remplissage s'opère au moyen des eaux surabondantes, de manière à ne pas porter de préjudice aux usagers d'aval ; une partie de sa capacité est spécialement affectée à l'atténuation des crues. Les travaux ont été commencés en 1888 ; il ne reste plus aujourd'hui qu'à poser le couronnement en pierre de taille, ce qui se fera au printemps de 1892. Un remplissage partiel a été déjà opéré et, depuis le mois de septembre 1891, le niveau de l'eau a été maintenu à 15 mètres en contre-bas du couronnement.

Dispositions générales. — L'axe du barrage est tracé suivant une courbe tournant sa convexité vers l'amont et décrite avec un rayon horizontal de 400 mètres. La hauteur de la retenue qu'il détermine au niveau du déversoir de superficie est de 46 mètres. Son épaisseur au niveau du massif de base, solidement encastré dans le rocher porphyrique, est de 41 m. 50. La chaussée qui le couronne, arasée à 1 mètre au-dessus du niveau du déversoir, a une largeur de 4 mètres entre parapets ; mais du côté d'aval elle est supportée par une série de voûtes d'évidement et de pilastres profilés comme le barrage lui-même, qui sert d'ornementation à l'ouvrage. Le déversoir forme le bajoyer d'un canal de décharge de 5 mètres de largeur sur 4 mètres de profondeur, et est accompagné d'un vannage dont le seuil est à 5 m. 75 en contre-bas de son couronnement. La manœuvre de ce vannage est destinée à maintenir le niveau normal du plan d'eau à 2 mètres plus bas, de manière à réserver la capacité de 500 000 mètres cubes, correspondant à cette hauteur, pour l'atténuation des crues.

La prise d'eau s'opère à 41 m. 75 en contre-bas du niveau du déversoir ou à 4 m. 25 au-dessus du fond, par deux tuyaux en fonte de 0 m. 45 de

diamètre intérieur et de 0 m. 025 d'épaisseur, simplement noyés dans la maçonnerie. A leur sortie, ces tuyaux sont munis d'une valve système Edant et d'un jeu de robinets. Les robinets permettent d'ouvrir le tuyau que l'on veut et de diriger l'eau où on le trouve utile. Les valves restent habituellement ouvertes et on ne doit les fermer que lorsque les robinets sont à réparer. Pour placer les tuyaux, on a ménagé une brèche dans la maçonnerie; la pose de ces tuyaux, à brides tournées, s'est faite sur boîtes à sable. Les joints exécutés, on a fait un rocaillage en ciment artificiel Vicat sur les parois, puis on a maçonné sur ce rocaillage en commençant par la partie inférieure où l'on avait ménagé un vide suffisant pour rendre l'opération assez facile. Un troisième tuyau de 0 m. 30 de diamètre a été installé dans les mêmes conditions à 2 mètres en contre-bas des deux premiers. Jusqu'à présent aucune filtration ne s'est produite le long de ces tuyaux.

Les moellons et la pierre de taille employés sont de nature granitique et pris dans le pays; la chaux provient des fours du Theil; le sable a été obtenu sur place par broyage de rochers de nature granitique ou porphyrique. La proportion employée dans le mortier a été de 540 kilogrammes de chaux pour 0 mc. 90 de sable. Des expériences faites sur des briquettes ainsi composées ont donné des résistances à l'écrasement qui ont varié de 9 kil. 27 au bout de 2 jours de fabrication, à 52 kil. 54 au bout de 2 mois et 105 kil. 20 au bout de 6 mois 1/2.

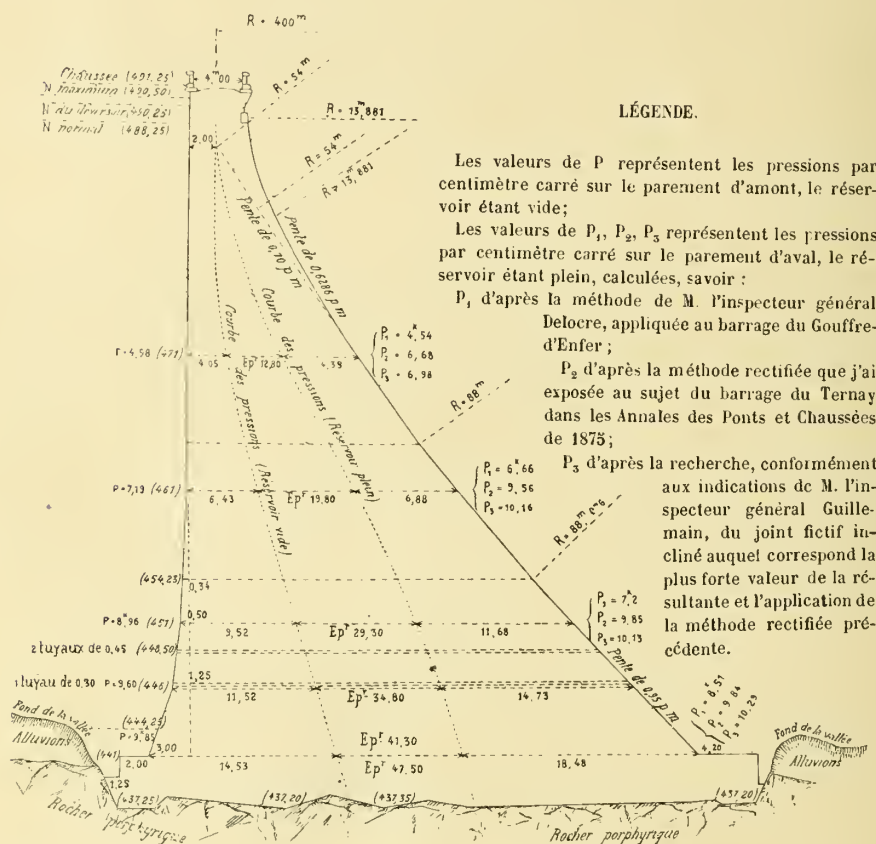
Le poids du mètre cube de maçonnerie ordinaire, déduit de sa composition à raison de 0 mc. 60 de moellons granitiques d'un poids spécifique de 2800 kilogrammes et 0 mc. 40 de mortier d'un poids spécifique de 1820 kilogrammes, a été estimé à 2400 kilogrammes.

Le niveau maximum du plan d'eau supérieur a été supposé pouvoir, en temps de crue extraordinaire du ruisseau de la Tâche, dépasser de 0 m. 25 celui du déversoir de superficie.

C'est d'après ces conditions que le profil-type du barrage a été calculé et arrêté; il paraît intéressant de le reproduire afin de faire ressortir les règles qui ont servi à le déterminer et qui peuvent être considérées comme représentant actuellement le dernier mot des recherches faites en France au sujet de l'établissement de ces sortes d'ouvrages.

On trouve indiquée sur ce profil, à diverses hauteurs des parements d'amont et d'aval, l'expression maxima des pressions auxquelles sont soumises les maçonneries, telle qu'elle résulte de l'application rationnelle de la loi trapézoïdale admise; elle est donnée par les valeurs de P sur le parement amont, lorsque le réservoir est vide, et par les valeurs de P_z sur le parement d'aval, lorsque le niveau dans le réservoir atteint son altitude maxima de 490,50. Elle ne dépasse pas la limite de 11 kilogrammes qu'on peut adopter sans s'écarter des règles de la prudence, lorsqu'il s'agit de maçonneries faites avec de grands soins et avec des matériaux d'aussi bonne qualité.

Mais les ingénieurs qui ont projeté cet ouvrage ne se sont pas contentés de rechercher, par des opérations graphiques multipliées et par des calculs laborieux, l'expression la plus élevée des pressions subies par les maçonneries; ils se sont encore préoccupés du danger de voir, dans les alternances du réservoir vide ou plein, les parties voisines des parements aval ou amont, être exposées à échapper à la compression que subissent les



Barrage de Chartrain. — Profil type.

parties les plus éloignées de ces parements sur lesquelles s'opère la répartition des pressions, et à être ainsi soumises alternativement à des actions d'extension susceptibles de déterminer le déchirement et la désagrégation de ces maçonneries. Pour obvier à ce danger, qui est particulièrement à redouter pour le parement amont, où ces actions tendraient à provoquer l'ouverture des joints, ils ont déterminé la forme du profil, notamment par l'adoption d'une grande hauteur verticale sur le parement amont, de manière que sur chaque section horizontale le point d'application de la résultante sur cette section, principalement lorsque le réservoir est plein,

se trouve à une distance du parement le plus rapproché supérieure au tiers de sa largeur.

Enfin ils se sont assurés, au moyen d'une série d'épures, que l'effort de cisaillement, qui tend à se produire suivant les sections inclinées vers l'aval, ne dépasse nulle part la limite de 8 000 kilogrammes par mètre carré que l'on peut sans danger demander à la cohésion des mortiers.

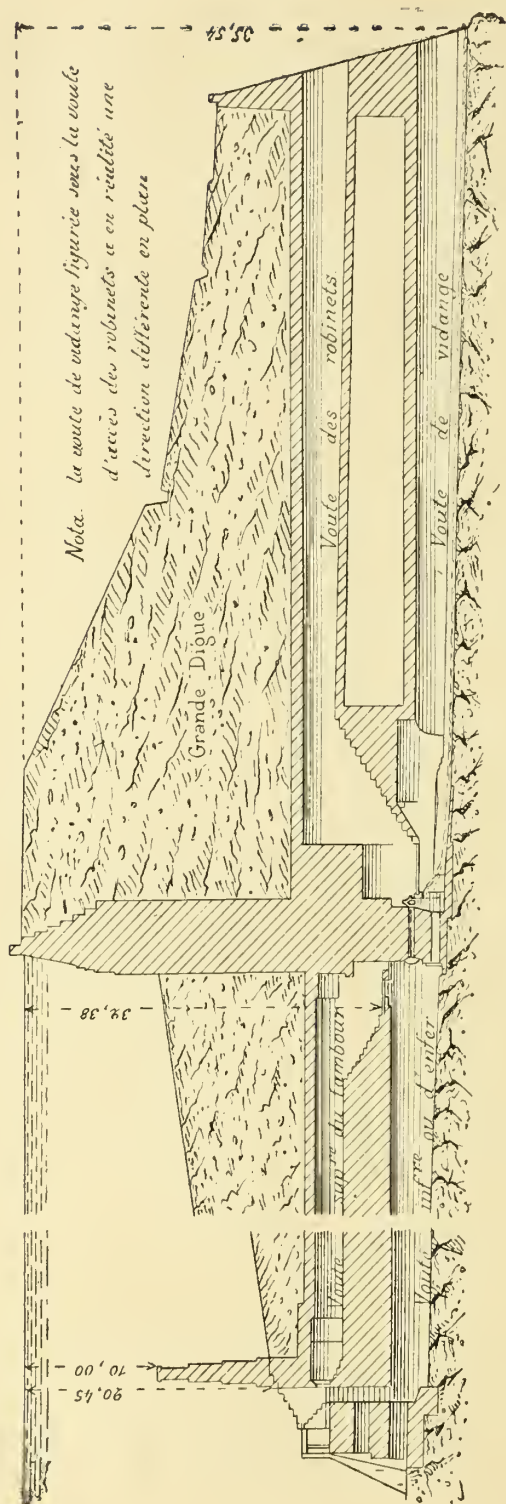
Renseignements divers. — Le bassin de réception est de 1 400 hectares. La capacité du réservoir, comptée au niveau du déversoir, est de 4 500 000 mètres cubes et correspond à une surface de plan d'eau de 24 hectares. Mais le volume réel de l'approvisionnement, défalcation faite des 500 000 mètres cubes réservés pour l'atténuation des crues, n'est que de 4 000 000 mètres cubes et correspond à une surface de plan d'eau de 22 hectares. C'est ce volume que la ville de Roanne se propose d'utiliser pour son alimentation, et elle compte utiliser en outre, pour cet objet, le volume déversé dans le réservoir par la Tâche, tant que le débit du Renaison au confluent de ce ruisseau atteindra ou dépassera 500 litres par seconde. Quand le débit du Renaison deviendra plus faible, elle laissera écouler ce qui sera nécessaire pour parfaire ce débit, sans être astreinte cependant à déverser plus d'eau que n'en débite la Tâche à l'amont du réservoir. Dans ces conditions son alimentation paraît devoir être largement assurée, sans qu'il en résulte de préjudice pour les usagers actuels.

La dépense totale n'est pas encore définitivement connue, mais elle peut être estimée, tous comptes faits, à environ 2 100 000 francs; d'où résulte pour le mètre cube de capacité utile un prix de revient de 0 fr. 47.

Le parement amont du barrage a été revêtu d'un enduit de 0 m. 05 d'épaisseur en mortier de ciment artificiel à prise lente, formé de volumes égaux de ciment et de sable; cet enduit s'élève jusqu'à 10 mètres en contre-bas du couronnement et, au-dessus, le parement a été l'objet d'un rejointoiement au mortier de ciment à prise prompte. Malgré ces précautions et malgré les soins apportés dans l'exécution des maçonneries, des suintements assez abondants se sont manifestés sur le parement d'aval lors du remplissage partiel du réservoir; ils sont allés progressivement en s'affaiblissant depuis et ils ont aujourd'hui presque entièrement disparu. On ne pourra toutefois être fixé sur leur volume et sur leur persistance que lorsque le réservoir sera appelé à fonctionner à pleine charge.

Réservoir de Saint-Ferréol.

Objet et époque de la création. — Ce réservoir est célèbre dans les annales de la construction des canaux de navigation; il a été construit par Riquet pour alimenter, au col de Nanrouze, le bief de partage du canal du Midi. Dans une histoire de ce canal publiée en 1804, où il revendique pour son grand-père, François Andréossi, un des collaborateurs de Riquet,



Barrage de Saint-Ferréol. — Galerie de vidange.

L'honneur de la conception de cette voie navigable et des ouvrages qui en dépendent, le général Andréossi donne d'intéressants détails sur le réservoir dont il s'agit. Il a été établi en barrant la vallée du Laudot, qui descend de la montagne Noire et se jette dans le Sor, affluent de l'Agout, dont les eaux se rendent dans le Tarn et de là dans la Garonne. Ses écoulements se déversent dans le ruisseau et à la demi-écluse du Laudot, située à environ 5 kilomètres en aval, se réunissent à ceux de la rigole, dite de la Plaine, qui s'alimente directement au ruisseau du Sor, au pont Crouzet, et vient déboucher dans le bief de partage, à Naurouze. La première pierre en a été posée avec solennité, le 17 novembre 1667, par le président des États du Languedoc.

Antérieurement, préoccupé d'accroître le débit du Sor, Riquet avait creusé sur le flanc méditerranéen de la montagne Noire la rigole, dite de la Montagne, qui lui avait permis de recueillir les eaux de plusieurs cours d'eau situés sur ce flanc et de les amener au col

de Conquet, séparatif des deux versants, d'où elles étaient jetées dans le bassin du Sor. En 1685, cinq ans après la mort de Riquet, Vauban, chargé d'examiner les travaux de parachèvement restant à faire au canal du Midi, constata l'insuffisance du bassin de réception du réservoir et signala la nécessité, pour en assurer régulièrement le remplissage, de prolonger la rigole de la Montagne jusqu'au ruisseau du Laudot. Cette prolongation a été réalisée et a atteint le but que s'était proposé l'illustre ingénieur. Une rigole de ceinture sur la rive gauche fonctionne comme le canal de dérivation du Gouffre-d'Enfer et permet d'écouler les eaux du Laudot sans les faire passer par le réservoir.

Dispositions générales. — Le barrage, en terre et maçonnerie, dont les dispositions ont inspiré celles du barrage du Couzon, soutient une retenue de 51 m. 55 de hauteur dont le plan d'eau, à son altitude supérieure de 549 m. 19, a une superficie de 67 hectares, et dont le volume est de 6 400 000 mètres cubes. Il constitue un massif de 140 mètres d'épaisseur à la base, terminé par des murs de soutènement du remblai, fondés sur le rocher et ayant respectivement 10 mètres et 20 mètres de hauteur à l'amont et à l'aval; vers le centre, à 65 mètres environ du parement d'amont, est placé un mur central, reposant également sur le rocher, dont le sommet est aminci par une inclinaison à l'amont, par des gradins à l'aval, et se termine par un parapet de 1 mètre d'épaisseur arasé à 1 m. 50 au-dessus du plan d'eau. L'intervalle entre ces murs est rempli par des remblais formés de cailloux et de terre, recouverts d'une couche de terre glaise de 2 mètres environ d'épaisseur. Le remblai d'amont, profilé en rampe douce jusqu'au mur central, s'y termine à 10 mètres en contre-bas du niveau de la retenue; celui d'aval s'élève, au contraire, contre le mur central jusqu'à 1 mètre en contre-bas de son parapet et y forme une plate-forme de 15 m. 50 de largeur; il descend ensuite en pente douce avec ressauts jusqu'au couronnement du mur inférieur.

Les moyens d'évacuation consistent :

1° Dans un épanchoir composé de trois vannes dont les seuils sont à 1 m. 80 en contre-bas du niveau de la retenue;

2° Dans une vanne dont le seuil est à 6 m. 70 en contre-bas de ce niveau;

3° Dans une autre vanne dont le seuil est à 12 mètres;

4° Dans trois robinets dont les axes sont à 51 m. 55;

5° Enfin, dans une vanne de fond dont le seuil est à 2 m. 50 en contre-bas des axes des robinets et qui ne sert que pour la mise à sec.

Deux galeries superposées ont été construites à l'amont et à l'aval du mur central pour l'accès et la manœuvre des robinets, mais l'abondance des infiltrations a fait renoncer à l'usage des galeries d'amont et on a reporté les robinets à l'aval du mur central; ils sont placés sur des tuyaux en fonte qui traversent ce mur et débouchent dans la galerie inférieure d'amont, dite voûte d'Enfer, à 51 m. 48 au-dessous du plan d'eau; leurs

écoulements tombent dans la galerie inférieure d'aval et de là se rendent au Laudot; on y accède par la galerie supérieure d'aval, qui débouche sur le talus de la vallée. La vanne de bonde est au pied du parement amont du mur central et ne se manœuvre que lorsque le déversoir est déjà presque vide. L'épanchoir supérieur, ménagé dans le mur central comme les autres systèmes d'évacuation, sert principalement à régler le niveau de la retenue.

Renseignements divers. — Les galeries d'aval, servant seules aujourd'hui à la manœuvre des robinets, n'ont pas cessé depuis l'origine d'être l'objet de filtrations abondantes et d'exiger des réparations incessantes. D'un tableau de jaugeages, dressé le 26 août 1826, il résulte que le volume des filtrations s'y élevait à cette époque à 40 lit. 500 par seconde; en 1878, il n'était plus que de 3 lit. 678, mais le 25 mai 1878 il tripla subitement et les eaux devinrent très troubles, puis la situation antérieure se rétablit. Afin de se rendre compte des causes de ces filtrations, on a entrepris en novembre 1879, à l'angle de droite du grand mur et des voûtes, un sondage qu'on a descendu jusqu'au niveau de la galerie de vidange, il a permis de reconnaître que, contrairement à ce qui avait été supposé, les remblais étaient pleins, bien tassés et consistants, et que les maçonneries étaient bien construites et en bon état. On s'est borné alors à remplir le trou de sondage avec des débris de briques et des gros graviers, puis avec du sable graveleux, après l'avoir mis en communication avec la galerie de vidange en perçant le mur du pied droit de cette galerie, de manière à créer une espèce de drain vertical. Depuis, fait assez inattendu, le volume des infiltrations est descendu de 3 lit. 678 à 1 lit. 457.

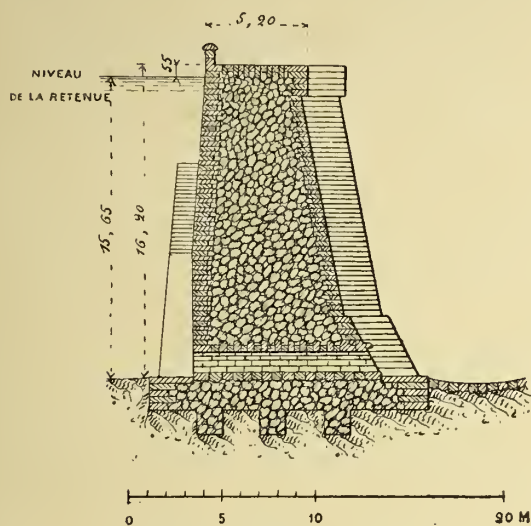
Réservoir de Lampy.

Objet et époque de la création. — Le réservoir de Lampy a eu pour but de compléter les ressources alimentaires du bief de partage du canal du Midi, empruntées au réservoir de Saint-Ferréol, au ruisseau du Sor et aux cours d'eau du versant méditerranéen de la Montagne Noire. Il est établi sur l'un de ces derniers cours d'eau, le Lampy, et ses écoulements déversés dans la rigole de la montagne, peuvent à volonté être dirigés, soit sur le Laudot pour compléter les approvisionnements du réservoir de Saint-Ferréol en suivant le prolongement de cette rigole exécuté sur les indications de Vauban, soit sur le Sor en passant par le déversoir de Conquet que Riquet avait fait construire antérieurement à la création du réservoir de Saint-Ferréol.

Le réservoir de Lampy n'est pas contemporain de Riquet, il a été créé par ses héritiers, de 1777 à 1780, pour remplacer, dans le canal du Midi, l'eau qu'il devait fournir au canal dit de jonction, que la province du Languedoc a construit pour relier la Robine de Narbonne au canal du Midi.

Dispositions générales. — Le barrage a été construit sur un rétrécisse-

ment qui fait suite à un épanouissement du vallon ; il est en maçonnerie de pierres granitiques et repose, de toutes parts, sur le rocher incompressible ; il est formé d'un mur placé transversalement au thalweg, dont la longueur est au sommet de 126 mètres et à la base de 42 mètres ; son couronnement, muni d'un pa-

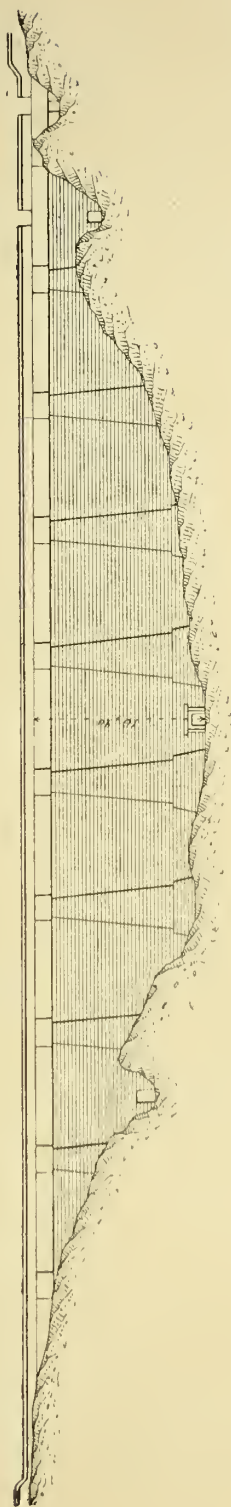


Barrage de Lampy. — Profil.

rapet du côté de l'eau, a 5 m. 20 de largeur et est arasé à 16 m. 20 au-dessus du fond. Le parement d'amont est à peu près vertical ; à l'aval, il est incliné et contre-buté par dix contreforts. Le mur et ses contreforts, ainsi que les escaliers qui sont adossés au parement d'amont pour accéder aux vannes reposent sur un massif de fondation de 15 mètres d'épaisseur et de 1 m. 90 de hauteur, fondé sur le roc vif.

La hauteur de la retenue est de 15 m. 65 et son niveau supérieur est ainsi à 0 m. 55 en contre-bas de la chaussée du barrage ; la capacité du réservoir est de 1 672 000 mètres cubes et la surface de son plan d'eau de 23 hectares.

Les moyens d'évacuation consistent en quatre aqueducs ménagés dans le corps de la maçonnerie et munis, sur le parement amont, de vannes qui se manœuvrent, soit du couronnement du mur, soit au moyen des escaliers dont il a



Barrage de Lampy. — Élévation d'aval.

été parlé; deux sont sur la rive gauche et ont leurs seuils à 2 m. 10 et 6 mètres en contre-bas du niveau de la retenue; le troisième est sur la rive droite et a son seuil à 10 m. 70; le quatrième est au milieu, au fond même du réservoir, et son seuil est à 15 m. 65 en contre-bas du niveau de la retenue.

Renseignements divers. — L'exécution des maçonneries a laissé à désirer et, à l'origine, les filtrations à travers le barrage ont été très abondantes. Dans son ouvrage, auquel ont été empruntés plusieurs des renseignements qui précèdent, le général Andréossi expose qu'on a cherché à y remédier « en jetant au-devant du parement intérieur 280 myriagrammes de chaux éteinte que l'eau a délayée, qu'elle a ensuite entraînée, déposée dans les interstices de la maçonnerie, et conduite jusqu'à la surface du parement extérieur, où cette chaux a formé, en s'emparant du gaz acide carbonique de l'atmosphère, une légère couche de pierre vivifiée. » Il ajoute : « Le grand mur du bassin du Lampy, ainsi tapissé d'une matière très blanche, offre dans ce vallon agreste un coup d'œil assez piquant. Après un certain nombre d'opérations de ce genre, les filtrations ne se sont plus guère manifestées au dehors, ce qui a dû annoncer que les interstices étaient à peu près remplis. »

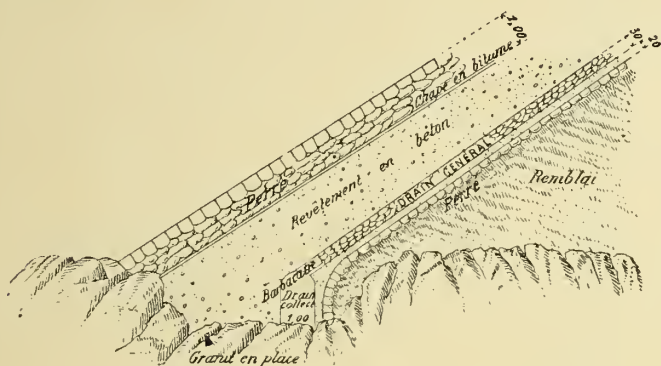
Ce qui est certain c'est que, soit grâce à des opérations de cette nature, soit en taillant en refends les joints du parement d'amont et en les garnissant de mortier de ciment, on est parvenu à aveugler les fuites et que les filtrations ont à peu près disparu aujourd'hui; elles ne donnent ensemble, en effet, qu'un volume d'eau de 0 lit. 145 par seconde environ.

Barrage du lac d'Orédon.

Objet et époque de la création. — Le lac d'Orédon verse ses eaux dans la vallée de la Neste, qui les conduit à la Garonne. Il est situé à l'altitude de 1852 mètres, près du faite de partage des eaux de la Neste et du Gave de Pau; il reçoit le tribut des lacs supérieurs de Cap-de-Long, des Laquettes, d'Aubert et d'Aumar et des glaciers de Nèouvieille et du Pic-Long; la réserve qu'il a permis de créer, et dont la capacité est de 7 270 000 mètres cubes, fait partie d'un projet d'ensemble qui embrasse d'autres créations semblables dans la partie haute de la vallée, jusqu'à concurrence d'un volume total de 25 000 000 de mètres cubes environ, et qui a pour but de fournir les disponibilités nécessaires pour assurer au canal de la Neste, dérivé de cette rivière à Sarrancolin et aboutissant au plateau de Lanne-mezan, une dotation normale de 7 mètres cubes par seconde, sans léser pendant l'été les usagers inférieurs de la Neste auxquels un volume de 4 mètres cubes par seconde a été reconnu devoir être réservé. Les travaux, précédés de la construction d'un chemin d'accès d'environ 9 kilomètres, ont été commencés en 1869 et n'ont été entièrement terminés qu'en 1884.

Dispositions générales. — La cuvette du lac d'Orédon est creusée dans

le terrain granitique. Le seuil, placé dans une gorge resserrée entre les rochers, par lequel le trop-plein de ses eaux s'écoule dans la Neste de Conplan, est à la limite de ce terrain et des calcaires sédimentaires de transition; il offre de magnifiques assises granitiques pour l'établissement d'un ouvrage de retenue. La superficie du lac, dans son état primitif, était d'environ 24 hectares; son bassin de réception a une surface de 2 800 hectares et, eu égard aux conditions particulières où il est placé, il a été jugé susceptible de fournir annuellement, pour être utilisé pendant l'été, un approvisionnement de 15 millions de mètres cubes. Il offrait donc les conditions les plus favorables pour l'établissement d'un vaste réservoir. A l'origine,

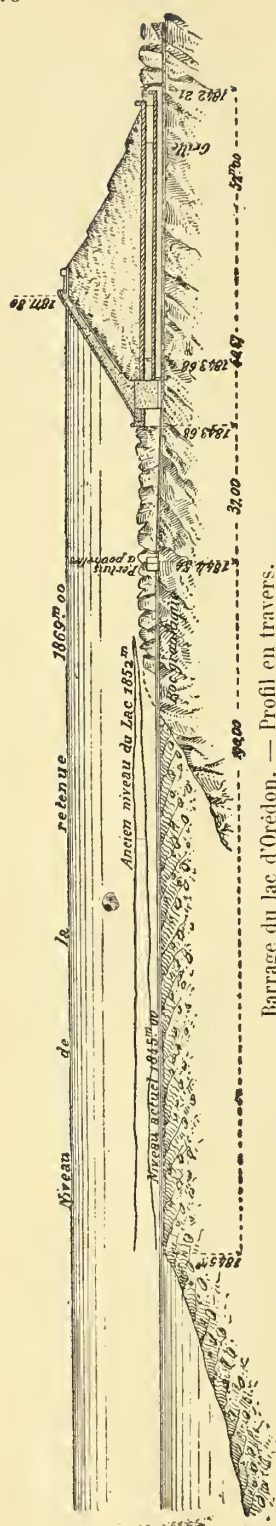


Barrage du lac d'Orédon. — Revêtement.

on a songé à utiliser tous ces avantages en construisant un barrage élevé de 50 mètres au-dessus du seuil, combiné avec une prise des eaux à un niveau inférieur; mais on a craint des mécomptes et on a préféré réduire le volume de l'emmagasinement à 7 270 000 mètres cubes, sauf à créer ultérieurement, si la possibilité en était reconnue, des réserves supplémentaires sur les lacs supérieurs, qui versent leurs eaux dans le lac d'Orédon.

Dans ce but, on a creusé dans le seuil une tranchée de 5 mètres de largeur environ, destinée à recevoir la galerie contenant les appareils de vidange et permettant de prendre les eaux à 7 m. 00 en contre-bas du niveau du lac; on a, d'autre part, établi au-dessus du seuil un barrage en remblai, avec maçonneries de protection du côté de l'eau, qui a permis de relever le plan d'eau de 17 mètres; on a ainsi créé une retenue disponible de 24 mètres de hauteur correspondant à la capacité indiquée.

La longueur de la tranchée est de 480 mètres, dont 167 mètres empiétant dans le lac même et 313 mètres sur le déversoir naturel; pour en faciliter l'exécution, on a établi à l'amont un remblai s'élevant à 3 m. 50 au-dessus du niveau du lac et se terminant sur la rive droite par un pertuis de 3 mètres de largeur fermé par des poutrelles. Ce pertuis a servi à régler les écoulements pendant la construction et à produire dans le che-



nal, aux moments utiles et principalement à la fin de la journée, au fur et à mesure de son approfondissement, des courants d'eau puissants qui emportaient vers la cascade les produits des déblais.

Le chenal a été fermé, au pied du parement d'amont du barrage, par un massif de béton en ciment de Portland de 8 mètres d'épaisseur et de 7 mètres de hauteur, précédé d'une voûte destinée à protéger la prise des eaux et à servir d'appui aux maçonneries de recouvrement du talus amont; dans ce massif ont été encastrés, à la base et sur deux étages, cinq au rang inférieur et six au rang supérieur, onze tuyaux de 50 centimètres de diamètre, terminés à l'amont par des tuyaux évasés dont le diamètre atteint 60 centimètres et munis à leur sortie de robinets-vannes donnant issue aux eaux dans le chenal transformé en aqueduc de vidange jusqu'à l'extrémité aval du barrage et conservé tel quel, au delà, pour les écoulements du réservoir.

Cet aqueduc a été recouvert d'une voûte en arc de cercle qui repose sur les flancs du rocher et qui se termine par une plate-forme formant le seuil d'une galerie supérieure, également voûtée, à laquelle on accède par l'aval du barrage, et destinée à la manœuvre des tiges des robinets; la voûte de cette galerie a été recouverte par les remblais, qui s'étendent de part et d'autre sur les rochers granitiques préalablement mis à nu et nettoyés avec soin. La longueur, entre la tête amont de la voûte qui précède le massif de béton et la tête aval de l'aqueduc de vidange, est de 92 m. 47. Des terrains graveleux abondants, situés dans le voisinage, au pied du versant rive gauche du lac, ont été empruntés pour les remblais; la combinaison d'une voie ferrée descendant au chantier, d'une autre voie descendante à partir du chantier et revenant vers le point de départ, enfin d'une machine hydraulique mue par une dérivation des écoulements des lacs supérieurs, et remontant les wagons vides, par un plan incliné, de l'extrémité de la seconde voie à l'origine de la première, a servi à établir un

va-et-vient pour le transport des terrassements. Au fur et à mesure de l'avancement du remblai, on disposait sur le talus une buse en bois inclinée, dont la partie inférieure était recouverte par les nouveaux remblais et dans laquelle, au moment opportun, on jetait un fort courant d'eau emprunté à la dérivation. Il se produisait ainsi successivement un lavage à grande eau au moyen duquel toutes les parties terreuses étaient entraînées vers la cascade, et les parties plus lourdes, telles que cailloux, graviers ou sables, restaient seules en place, en se mélangeant intimement et constituant une masse incompressible.

En même temps, le talus d'amont était réglé à l'inclinaison de 1 m. 50 de base pour 1 mètre de hauteur au moyen d'un perré à pierre sèche, et le talus d'aval, consolidé à sa base par un enrochement de gros blocs, à l'inclinaison de 1 m. 75 de base pour 1 mètre de hauteur avec des banquettes de 1 mètre de largeur, pourvues de rigoles pavées pour l'écoulement des eaux pluviales.

D'autre part, on s'est préoccupé d'empêcher les filtrations de traverser le remblai et on a construit dans ce but, au pied et à l'amont du perré, une petite galerie transversale de 1 mètre de largeur sur 1 m. 50 de hauteur, débouchant sur la plate-forme de manœuvre des robinets et remontant de part et d'autre sur chaque rive, pour se retourner ensuite vers les deux extrémités du barrage et venir prendre jour sur le parement aval du remblai.

Le perré a été successivement recouvert : d'une couche de béton de 20 centimètres; d'un perré à pierre sèche de 50 centimètres, destiné à recueillir les filtrations, reposant sur le cerveau de la galerie transversale dont il vient d'être parlé et communiquant avec elle par des barbacanes dont la position est repérée à l'extérieur; d'un fort revêtement en béton d'épaisseur décroissante de bas en haut, de 1 m. 60 à la base, à 1 m. 20 au sommet; d'une chape en bitume de 2 centimètres d'épaisseur; enfin, d'un perré à pierre sèche de 1 mètre d'épaisseur servant de protection contre la gelée.

La longueur du barrage à la crête est de 95 mètres, et son épaisseur à la base atteint 86 mètres, se réduisant à 8 m. 75 au sommet. Ce sommet est placé à 29 m. 50 en contre-haut du plafond du canal de vidange et à 19 mètres au-dessus de l'ancien seuil. Le couronnement comprend une chaussée de 4 mètres de largeur, avec banquettes en amont et en aval, qui est établie à 2 mètres en contre-haut du niveau de la retenue. Celui-ci est réglé par un déversoir de superficie de 40 mètres de longueur, en amont et sur la rive droite, dont le canal de décharge, creusé dans le granit, vient, après avoir passé sous le chemin d'accès au moyen d'un pont, déboucher dans le chenal en aval du barrage.

Renseignements divers. — Les travaux avaient été commencés à l'entreprise, mais on a dû y renoncer dès l'origine, et ils ont été exécutés en régie. La dépense de construction du réservoir s'est élevée à 670 000 francs;

eelle du chemin d'accès, à 40 000 francs; soit, en totalité, 710 000 francs. Le prix du mètre cube de capacité utile, non compris les frais généraux, est donc revenu à un peu moins de 10 centimes.

Les dispositions adoptées en vue d'empêcher les filtrations de pénétrer dans le corps du remblai ont été couronnées de succès, et aucun écoulement n'est apparu sur le parement d'aval depuis la construction du barrage; dans la galerie transversale, le volume des eaux déversées par les barbacanes et provenant du drain créé sur le parement d'amont, est resté très limité; il est sensiblement moindre que celui des filtrations qui s'échappent avec une assez grande abondance du massif de ciment placé en tête des galeries de vidange et de manœuvre des robinets; la somme des deux volumes a été trouvée de 200 litres par minute, soit de 3 lit. 33 par seconde. La multiplicité des tuyaux de vidange a été adoptée en vue de graduer les écoulements suivant les besoins, tout en ouvrant complètement les robinets, et d'éviter ainsi les trépidations qui résultent d'une ouverture partielle; mais cette disposition a eu le double inconvénient d'affaiblir le massif ou bouchon de fermeture et d'exiger, pour la voûte de la galerie de manœuvre, une dimension exagérée, peu favorable à la solidité de l'ouvrage. La chape en bitume n'a pas, d'ailleurs, donné les résultats espérés, et sur les points où elle a été mise à découvert pour des réparations, elle a révélé, par des boursouflures, un défaut d'adhérence avec la couche de béton qu'elle recouvre.

III. — OBSERVATIONS

Malgré les critiques que quelques-uns d'entre eux ont paru comporter, les divers réservoirs qui viennent d'être décrits fonctionnent de la manière la plus utile et répondent, dans des conditions satisfaisantes, au but pour lequel ils ont été créés. Aucune interruption grave dans leur service ne paraît s'être produite, et leur entretien n'a pas exigé jusqu'à présent de travaux importants. Ce succès est dû, sans doute, au choix judicieux de leurs emplacements dans des régions élevées et boisées, appartenant aux terrains primitifs, où les pluies sont abondantes, où une forte proportion des eaux tombées se rend au thalweg de la vallée et assure leur approvisionnement, où l'imperméabilité du sous-sol ne permet aucune déperdition souterraine de leur volume, où la présence d'un rocher inaffouillable et incompressible offre une base solide pour les fondations de leurs ouvrages, où enfin les apports de leurs cours d'eau alimentaires sont peu importants et ne les exposent pas à de rapides envasements. Mais une grande part aussi doit en être attribuée aux sages dispositions adoptées pour l'établissement de leurs ouvrages et aux soins apportés à leur exécution. À ce point de vue, leur description et les renseignements qui l'accompagnent peuvent donner lieu à quelques observations intéressantes.

Il est, d'abord, à remarquer que, pour aucun d'eux, leur barrage de retenue n'a été construit exclusivement en terre, même pour celui de Lampy, où la hauteur de la retenue n'a pas dépassé 15 m. 65, et que, pour tous, on a eu recours, soit à une construction mixte en terre et maçonnerie, soit à une construction entièrement en maçonnerie. C'est un fait qui concorde avec la règle généralement admise de ne pas recourir à ce mode de construction lorsque la hauteur de la retenue dépasse 10 à 15 mètres, parce que, dans ce cas, les lames exercent une action trop offensive sur le parement d'amont et que les infiltrations dans le remblai deviennent trop dangereuses. Les exemples qui précèdent démontrent combien il est difficile alors d'éviter les filtrations, même avec des maçonneries faites avec les meilleurs matériaux et les plus grands soins, et combien cette règle est prudente.

En ce qui concerne le système mixte de terres et de maçonneries, l'application qui en a été faite, dans des conditions à peu près identiques, aux barrages de Saint-Ferréol et du Couzon, a consisté à constituer l'ouvrage en trois parties concourant ensemble à résister à la poussée de l'eau, tout en étant appelées à remplir des rôles différents : au centre, un mur formant écran d'une épaisseur insuffisante pour résister seul à la poussée, mais jugée capable cependant d'arrêter les filtrations arrivant jusqu'à lui ; à l'amont, un remblai en rampe douce, soutenu du côté du réservoir par un mur, se terminant contre le mur central à un niveau sensiblement inférieur à celui de la retenue, de manière à avoir son parement à l'abri des lames, recouvert d'une couche d'argile, et destiné à empêcher ou à réduire l'action de la poussée de l'eau contre la partie inférieure du mur central ; enfin à l'aval, un remblai plus important destiné à servir de soutien au mur central, s'élevant jusqu'à son sommet avec une large plateforme à ce niveau et se prolongeant ensuite en pente douce jusqu'au mur de soutènement qui le termine. Cette construction, peu homogène, n'a pas donné tous les résultats qu'on en a espérés ; le remblai d'amont a été percé par des filtrations abondantes, qui sont arrivées en pression jusqu'au mur central et l'ont en partie traversé ; le remblai d'aval s'est ainsi trouvé menacé d'affaissements dont le danger a été révélé par l'apparition de fuites abondantes. Il en est résulté la nécessité de réparations assez fréquentes et assez difficiles. Au réservoir de Saint-Ferréol, on a dû renoncer à se servir des galeries d'amont pour le règlement des écoulements ; à celui du Couzon, le mur central a fléchi et s'est fissuré. Il paraît résulter de ces explications et de ces faits que ce mode de construction, dont la résistance n'est pas susceptible d'être méthodiquement déterminée, ne répond pas d'une manière complètement satisfaisante aux conditions de solidité qu'on doit rechercher pour des ouvrages de cette nature et ne mérite pas d'être cité comme un exemple à suivre.

Le système mixte adopté au réservoir d'Orédon, tout en ne se prêtant pas non plus à un calcul méthodique de la résistance, est plus rationnel et,

offre beaucoup plus de garanties. Il concentre, en effet, sur le parement d'amont, les maçonneries appelées à recevoir le choc des lames et destinées principalement à empêcher l'introduction des filtrations dans le corps de l'ouvrage. Les filtrations qui pénètrent à travers cette enveloppe de protection et qu'il est difficile d'éviter, malgré les soins apportés à son exécution, sont ensuite reçues dans un drain de parement, que sa construction en maçonnerie à pierres sèches rend indéformable, et elles aboutissent, au moyen de barbacanes établies au pied de ce drain, dans une galerie transversale qui les rejette dans l'aqueduc de vidange, sans leur permettre de s'introduire dans le remblai. Celui-ci a été, d'autre part, lavé à grande eau et purgé de ses matières terreuses; il est, par suite, peu susceptible d'être l'objet de tassements qui, en provoquant des ruptures ou des fissures dans le parement maçonné, pourraient entraîner la destruction de l'ouvrage. L'ensemble de ces dispositions est de nature à inspirer une grande confiance; il laisse cependant subsister quelques craintes sur la possibilité de voir le remblai, qui constitue le principal élément de résistance, être l'objet de tassements dangereux, dans le cas où ils viendraient à être détrempés, soit par l'action de pluies torrentielles, soit par des infiltrations provenant des fentes du rocher ou d'une solution de continuité le long de la voûte de pénétration de la galerie de manœuvre. A ce point de vue, un ouvrage entièrement en maçonnerie, dont la résistance aurait pu être plus sûrement appréciée et dont la dépense n'aurait probablement pas été plus élevée, eût peut-être été préférable.

Dans les conditions où se trouvent les réservoirs dont il s'agit, avec un rocher inaffouillable et incompressible pour l'assiette des fondations de leurs ouvrages, le système de construction, entièrement en maçonnerie, de leurs barrages, est celui qui a prévalu dans ces derniers temps. En Espagne, l'application en avait déjà été faite pour le service des irrigations dès la fin du seizième siècle (barrage d'Alicante) et il y a donné lieu à des ouvrages remarquables par leur hauteur et par leur masse. En France, on y a aussi eu recours, quoique avec des dimensions beaucoup plus restreintes (barrages des Settons, de Lampy, de Bosméléac et de Glomel), pour l'alimentation des canaux; le barrage de Lampy, dont la description est donnée ci-dessus, est une de ces applications et il présente cette particularité que, construit dans le voisinage du réservoir de Saint-Ferréol et pour en compléter l'approvisionnement, il témoigne de l'abandon du système mixte employé à ce dernier, dont l'expérience avait sans doute, dès 1777, démontré les inconvénients.

Mais ce n'est qu'au sujet de la création du réservoir du Gouffre-d'Enfer qu'un type rationnel de ces sortes d'ouvrages, qui leur a fait donner le nom de barrages français, a été inauguré, et que son application, permettant en même temps de réaliser une notable économie dans la dépense et de satisfaire aux meilleures conditions de résistance des maçonneries, s'est rapidement étendu en France et à l'étranger. La description qui a

été donnée de plusieurs d'entre eux, situés dans la région du midi de la France, fait connaître leurs dispositions générales; la reproduction du profil adopté pour le barrage de Chartrain, accompagnée des explications qui ont servi à le déterminer, peut être considérée comme donnant actuellement la dernière expression de ce type nouveau. La méthode de calcul qui lui a été appliquée fait ressortir une pression maxima par centimètre carré sur le parement d'aval de 10 kilogr. 29; elle donne pour les autres des résultats variants de 9 kilogr. 40, au barrage du Gouffre-d'Enfer, à 12 kilogrammes, au barrage du Ternay doté de sa hauteur de retenue définitive. Dans ces limites, leur solidité ne saurait être mise en doute et ils en ont, du reste, fourni la preuve; mais il ne faut pas perdre de vue qu'ils sont fondés sur un sol inaffouillable et incompressible, que leur massif est sensiblement homogène, que les moellons, le sable et la chaux hydraulique employés dans leur construction sont d'excellente qualité, enfin que les plus grands soins ont été apportés à l'exécution de leurs maçonneries. Ce sont là des conditions indispensables du succès et aucune d'elles ne pourrait être négligée sans danger.

Il importe beaucoup également qu'en cas de crue du cours d'eau alimentaire, le niveau normal de la retenue ne puisse pas être dépassé, parce que toute surélévation de ce niveau se traduit par un accroissement rapide de la pression subie par les maçonneries. On y a pourvu, dans la plupart des cas, en établissant à l'amont du barrage, sur l'une des rives, un déversoir de superficie suffisamment étendu et accompagné d'un canal de décharge très solidement établi, qui, passant sous la voie généralement ménagée au couronnement de l'ouvrage, ou s'engageant en tunnel dans un contrefort de la rive, vient déverser à l'aval les eaux surabondantes. C'est là une solution toute naturelle et peu coûteuse, dont l'application aux réservoirs de Lampy et de Saint-Ferréol semblerait bien justifiée.

Les hauteurs du couronnement du barrage au-dessus du plan normal de la retenue varient assez pour les réservoirs décrits; la plus forte est de 2 m. 65 au réservoir du Ternay; elle n'est que de 55 centimètres au réservoir du Couzon et de 55 centimètres à celui de Lampy; au réservoir de Chartrain elle est nominale de 3 mètres, puisque c'est à ce niveau qu'est fixé le plan d'eau supérieur correspondant à l'alimentation de Roanne, mais il ne doit être obtenu que par la manœuvre d'un vannage, et le déversoir, dit de sécurité, n'est dérasé qu'à 1 mètre en contre-bas du couronnement. Ces dernières hauteurs paraissent faibles et il semble que, ne fût-ce qu'afin d'empêcher les lames d'attaquer le parapet de la voie, il serait prudent d'adopter une hauteur minima de 1 mètre, sauf à l'augmenter avec l'étendue et la profondeur du réservoir.

Les tuyaux et robinets de vidange ont été généralement établis dans des galeries inférieures, tantôt ménagées dans le corps même du barrage, tantôt ouvertes en tunnel dans l'un des contreforts de la vallée. Ce dernier système mérite d'être préféré, lorsque la configuration des lieux le rend

facilement réalisable, et il importe, lorsqu'on a recours au premier, de prendre les précautions nécessaires pour ne pas affaiblir la résistance de l'ouvrage, ainsi que cela a été fait notamment aux réservoirs du Ternay et de Chartrain. Pour ce dernier, on a supprimé toute galerie de vidange et il est à craindre que, dans l'avenir, lorsqu'une réparation aux tuyaux deviendra nécessaire, on éprouve d'assez graves embarras. Il semble donc préférable de conserver le système des galeries de vidange, mais il y a avantage, afin de ne pas être obligé de leur donner de trop grandes dimensions, à réduire le nombre des tuyaux en augmentant leur diamètre. L'adoption d'un double jeu de robinets, placés les uns à la sortie du bouchon de fermeture, les autres vers l'extrémité, permet de faciliter la manœuvre ainsi que les réparations, et de diminuer les trépidations qui se produisent lorsqu'un robinet n'est que partiellement ouvert.

Sous la réserve de ces observations, il est permis de dire que lorsqu'on est conduit à projeter des retenues élevées pouvant atteindre jusqu'à 50 mètres de hauteur, et que, d'ailleurs, on dispose d'un sol de fondation inaffouillable et incompressible, la question peut être résolue avec sécurité et économie par l'emploi du nouveau type des barrages en maçonnerie. La solidité, attestée par l'expérience, des ouvrages ainsi établis, suffit à le démontrer. Il convient cependant de se demander si l'expérience est bien complète et si les suintements, qui se sont invariablement produits, avec plus ou moins d'abondance, sur le parement d'aval de tous ces ouvrages et qui y ont déterminé des efflorescences calcaires, ne sont pas l'indice d'un danger pour l'avenir, particulièrement à redouter pour les réservoirs établis dans les terrains primitifs, où les eaux recueillies sont presque chimiquement pures et ont par suite une grande puissance dissolvante. L'ingénieur ne saurait voir ces formations avec les yeux du général Andréossi, charmé du contraste offert, au milieu d'un vallon agreste, par la face ainsi blanchie du barrage de Lampy, et il doit rechercher les moyens d'empêcher, ou tout au moins d'arrêter l'appauvrissement des mortiers dont elles sont la révélation et qui, s'il persistait, pourrait avoir des conséquences funestes.

Dans ses intéressantes recherches sur les mortiers hydrauliques, publiées dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1890, M. l'ingénieur en chef Alexandre constate que de pareils mortiers, confectionnés avec du gros sable, ainsi que cela a généralement lieu dans les cas dont il s'agit, et soumis à une charge d'eau constante de 50 centimètres, sont traversés par des filtrations abondantes dans les premiers temps, mais qu'au bout de quelques mois ils deviennent imperméables. On ne saurait malheureusement en conclure qu'il en est de même lorsque les charges d'eau atteignent, comme ici, de 50 à 50 mètres et que l'on voit, sous leur action, l'eau s'infiltrer, non seulement à travers les mortiers et les enduits en ciment, mais même à travers les moellons de la maçonnerie. Au Lampy, des délayages de chaux et un bon rejointoiement au ciment du parement

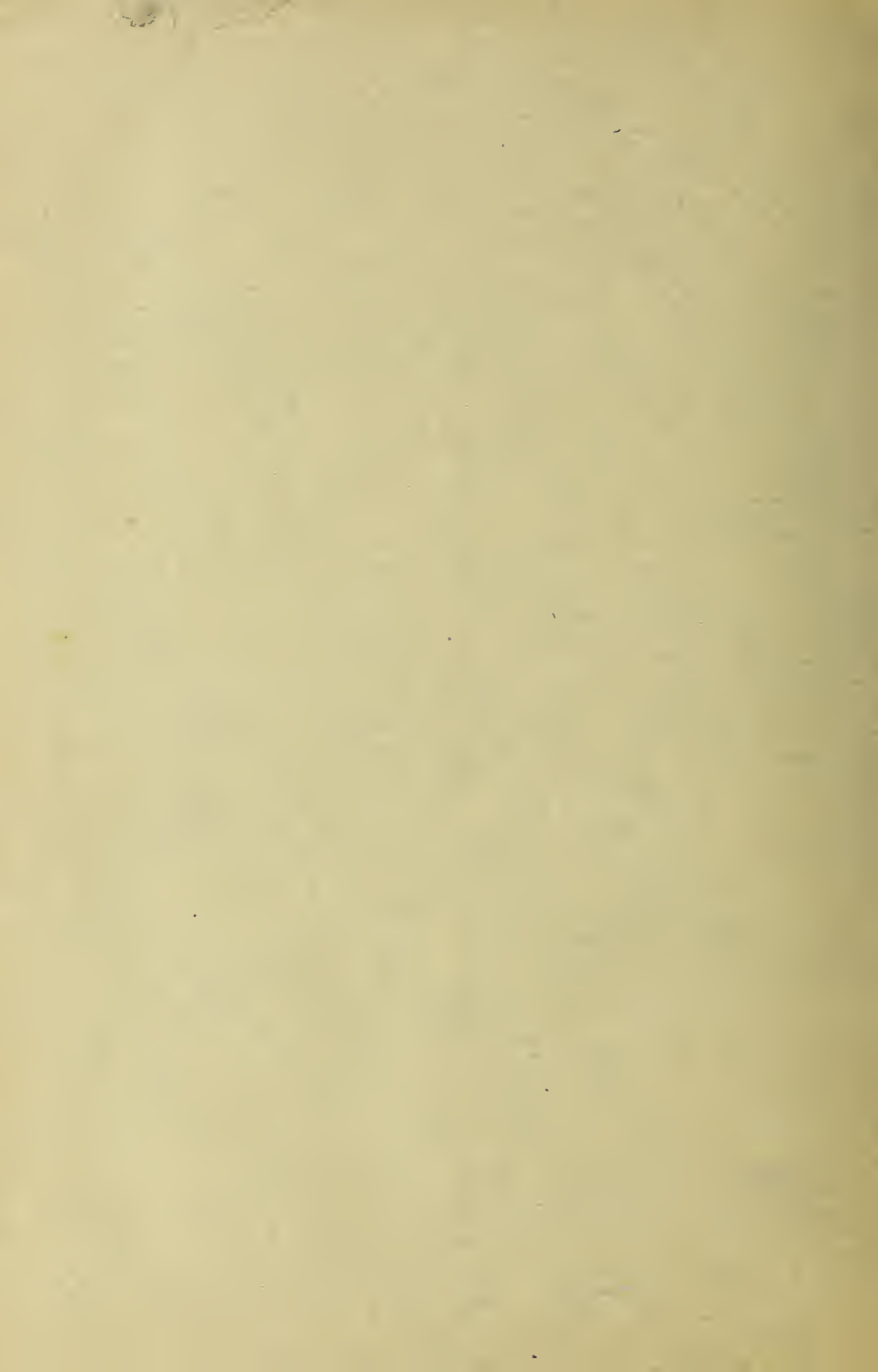
d'amont ont réussi à y éteindre à peu près les filtrations. Au Ternay, un semblable rejointoiment a été fait dès l'origine ; il a été complété ultérieurement par un fort enduit en ciment sur toute la surface du parement d'amont : les filtrations y ont, il est vrai, diminué d'importance, mais elles sont restées cependant suffisantes pour renouveler, vingt ans après la mise en service du réservoir, la couche d'efflorescences sur les parties du parement d'aval où elle venait d'être enlevée. La forte proportion de chaux employée à la fabrication du mortier, qui a été notamment de 400 kilogrammes par mètre cube de sable au barrage du Ternay, et de 575 kilogrammes à celui du Gouffre-d'Enfer, offre sans doute de sérieuses garanties et donne lieu de penser que, malgré la chaux qu'ils ont perdue, les mortiers de ces ouvrages ont conservé leurs qualités essentielles ; mais il n'en est pas moins nécessaire d'aviser aux mesures efficaces à prendre pour empêcher leur appauvrissement continu. Ce doit être là un sérieux sujet de préoccupations pour les ingénieurs qui ont la mission de veiller à la conservation de ces importants travaux.

Les redoutables conséquences de la chute de pareils ouvrages, attestées par les désastres qu'ont provoqués les ruptures des barrages de Puente, de Bradfield, de Tabia et de l'Ilabra, ne doivent pas cesser d'être présentes à leur esprit, qu'il s'agisse de leur édification ou de leur entretien. Ainsi que l'a dit un de nos ingénieurs les plus éminents, M. Krantz, dans son étude sur les murs de réservoirs : « En face de pareilles éventualités, l'ingénieur n'est pas admis à faire preuve de hardiesse, ni à présenter au public le gage d'une responsabilité impuissante à réparer d'aussi grands désastres.

« Si peu qu'elle incline vers la témérité, la hardiesse, en pareil cas, peut devenir presque immorale. On doit sévèrement la proscrire et s'imposer la règle d'une rigoureuse prudence. »

La même règle de prudence s'impose dans la question de l'entretien des ouvrages existants et le danger de l'altération progressive de leurs mortiers, sous l'action lente des filtrations, que M. l'inspecteur général Guillemain a signalé avec une haute autorité dans son cours de navigation intérieure, nous paraît mériter toute la vigilante attention des ingénieurs à qui cet entretien est confié.

Paris, le 15 février 1892



V^{ème} CONGRÈS INTERNATIONAL DE NAVIGATION INTÉRIEURE
PARIS 1892

4^{me} QUESTION

LES RÉSERVOIRS

DU DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-MARNE

RAPPORT

PAR

M. GUSTAVE CADART

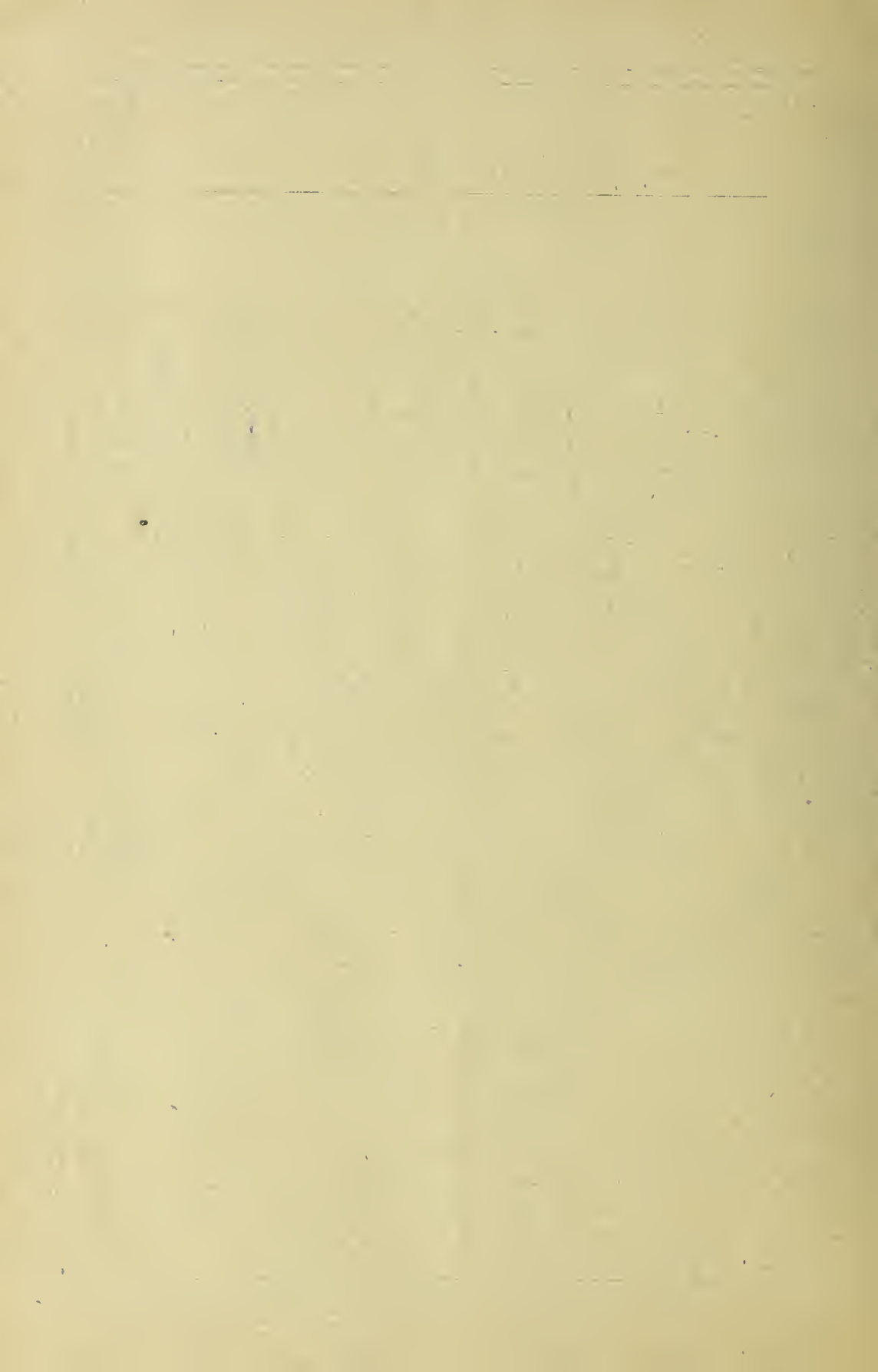
Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Langres .

PARIS

IMPRIMERIE GÉNÉRALE LAHURE

9, RUE DE FLEURUS, 9

1892



LES RÉSERVOIRS

DU DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-MARNE

RAPPORT

PAR

M. GUSTAVE CADART

Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Langres.

Introduction.

Le département de la Haute-Marne est traversé du nord au sud par une voie navigable artificielle, non encore complètement terminée, qui reliera à la Saône et aux canaux qui y débouchent le canal latéral à la Marne et le canal de la Marne au Rhin, qui communiquent eux-mêmes avec les réseaux des régions industrielles du nord et de l'est de la France.

Cette voie navigable qui, à son extrémité nord, s'étend dans le département de la Marne et effleure celui de la Meuse, et qui, à son extrémité sud, se termine dans le département de la Côte-d'Or, à Heuilley-sur-Saône près de Pontailler, présente un développement de 250 kilomètres et prend successivement les noms de « canal de la Haute-Marne » sur la longueur de 77 kilomètres comprise entre son origine sur le canal latéral à la Marne et Rouvroy et de « canal de la Marne à la Saône » sur la longueur de 153 kilomètres comprise entre cette dernière localité et la Saône, sans qu'aucune considération géographique ou technique justifie d'ailleurs cette double dénomination. Elle ne forme en réalité, dans son ensemble, qu'un même canal à point de partage unique, qui remonte la vallée de la Marne jusqu'à la source de cette rivière sous Langres en gravissant par 72 écluses une hauteur totale de 242 m. 32 et qui redescend ensuite la vallée de la Vingeanne jusqu'au point où cette rivière se jette dans la Saône, en franchissant par 43 écluses une chute de 155 m. 52.

Cette ligne principale est à deux voies de bateau. Elle reçoit un peu en aval de Saint-Dizier une ligne affluente à voie unique, le canal de Saint-Dizier à Wassy, qui dessert la vallée de la Blaise, très riche au point de vue métallurgique. Ce canal, de 23 kilomètres de longueur, franchit par 8 écluses une hauteur de 50 m. 25 et se termine en impasse à Brousseval, un peu en amont de Wassy.

Le canal de la Haute-Marne a été construit de 1865 à 1879, celui de Saint-

Dizier à Wassy de 1880 à 1885; le canal de la Marne à la Saône a été commencé en 1879. Sur les 255 kilomètres qui constituent le réseau qui vient d'être sommairement décrit, une longueur de 160 kilomètres, comprenant la totalité des canaux de la Haute-Marne et de Saint-Dizier à Wassy et les deux parties extrêmes du canal de la Marne à la Saône, l'une de 56 kilomètres entre Rouvroy et Chaumont, l'autre de 24 kilomètres entre Fontaine-Française et la Saône, est terminée et ouverte à la navigation, — une longueur de 58 kilomètres du canal de la Marne à la Saône comprise entre Foulain et la fin du bief de partage à Houilley-Cotton est également terminée et mise en eau, mais elle ne peut recevoir encore la batellerie, parce qu'elle est isolée par des lacunes des parties extrêmes exploitées; — la première de ces lacunes, celle de 15 kilomètres de longueur située sur le versant de la Marne entre Chaumont et Foulain, est en cours d'exécution et sera terminée en 1895; — la seconde, de 40 kilomètres, située sur le versant de la Saône entre Houilley-Cotton et Fontaine-Française, reste entièrement à construire.

Les eaux de la Marne suffisent en toute saison à entretenir le mouillage de la partie du canal de la Haute-Marne de 65 kilomètres de longueur située en aval de Joinville; le surplus des voies navigables, soit 190 kilomètres, doit être alimenté par des réservoirs pendant les saisons sèches. Le réservoir de Wassy, construit en 1881 et 1882, assure d'une manière tout à fait indépendante l'alimentation du canal de Saint-Dizier à Wassy. Celle des 14 kilomètres du canal de la Haute-Marne compris entre Joinville et Rouvroy et des 155 kilomètres qui constitueront le canal de la Marne à la Saône doit, conformément au dernier programme d'alimentation approuvé par une décision ministérielle du 15 janvier 1891, être assurée par quatre grands réservoirs situés tous aux environs de Langres, dans la région comprise entre Vesaignes dans le versant de la Marne et Piépape dans celui de la Saône, où les vallées sont creusées dans les terrains imperméables du lias et où les assises perméables de l'oolithe, qui en deçà et au delà de ces points affleurent d'une manière générale, restent confinées sur les sommets des plateaux et des coteaux. Le programme de l'alimentation fixe ainsi qu'il suit la capacité et le bassin versant de ces quatre réservoirs :

DÉSIGNATION DES RÉSERVOIRS.	CAPACITÉS.	SUPERFICIES DES BASSINS VERSANTS.
	mc.	Hectares.
Réservoir de la Liez	16 100 000	5 400
— de la Mouche	8 648 000	6 500
— de Charmes	11 620 000	5 086
— de la Vingeanne à Villegusien.	8 558 000	8 650
Totaux.	44 706 000	25 656

Dans l'élaboration de ce programme, il avait été admis que la hauteur moyenne annuelle des pluies était, dans la région de Langres et à l'altitude moyenne des réservoirs, de 0 m. 8264, et que le volume utilement recueilli et conservé par les réservoirs serait de 44,47 pour 100 du volume d'eau tombé sur le bassin versant de ces réservoirs; on avait ainsi compté que la quantité d'eau susceptible d'être emmagasinée dans une année moyennement pluvieuse serait égale au produit de la superficie du bassin versant, exprimée en mètres carrés, par 0 m. 8624 \times 0,4447 = 0 m. 5675. Dans ces conditions, le réservoir de la Liez était le seul qui ne pût être entièrement rempli en une seule année; les autres pouvaient l'être en beaucoup moins d'une année. L'expérience confirme jusqu'ici de la manière la plus complète les données qui avaient été admises. Deux des quatre réservoirs mentionnés au programme sont, en effet, construits et mis en eau, celui de la Liez depuis 1888, celui de la Mouche depuis 1890; une comptabilité minutieuse des eaux a été tenue pour chacun de ces réservoirs; elle porte actuellement sur trois années pour le réservoir de la Liez et sur une année pour celui de la Mouche. Le volume moyen emmagasiné annuellement par mètre carré de bassin versant a été à la Liez de 0 m. c. 5269 et à la Mouche de 0 m. c. 4105, soit en moyenne pour les deux réservoirs en service de 0 m. c. 5687, quantité très sensiblement égale à celle de 0 m. c. 5675, que nous avons prise pour base lorsque nous avons été chargé de procéder à une nouvelle étude de l'alimentation des canaux de la Haute-Marne et de la Marne à la Saône.

Nous ne dirons rien des deux réservoirs de Charmes et de Villegusien, dont l'exécution n'est pas commencée. Nous décrirons sommairement les digues des trois réservoirs construits de la Liez, de Wassy et de la Mouche; nous ferons connaître les procédés de construction qui y ont été employés et nous chercherons à dégager de cette étude quelques conclusions en vue de travaux futurs analogues. Enfin, après avoir fait connaître les prix de revient de ces réservoirs, nous exposerons par quels procédés simples, nous avons pu, en nous aidant de la connaissance de ces prix, établir une méthode d'évaluation approximative très rapide du coût des réservoirs avec digue en terre. Cette méthode nous a été de la plus grande utilité au cours de notre récente étude de l'alimentation; elle nous a permis de dégager, parmi tous les réservoirs qu'il était encore possible d'établir aux environs de Langres, quels étaient les plus avantageux, et de conclure en faveur de ceux de Charmes et de Villegusien à l'exclusion de tous les autres. Nous avons la conviction que, plus ou moins modifiée pour être adaptée à des circonstances et à des prix locaux différents, elle est susceptible de rendre des services aux ingénieurs qui seront appelés à étudier des avant-projets d'alimentation de canaux et qu'elle les aidera à faire un choix judicieux entre les divers emplacements possibles des réservoirs. Tels seront les objets du présent rapport.

Mode de construction, hauteur, profil et fondation des digues.

Digue de la Liez. — La Liez est un petit affluent de rive droite de la Marne à régime torrentiel. Sa vallée se resserre étroitement avant de déboucher dans celle de la Marne, et la digue, placée au point le plus rétréci, ne se trouve qu'à 250 mètres du confluent. Le bassin versant du réservoir de la Liez est formé tout entier par l'étage supérieur du lias moyen ; les marnes bleues imperméables de cet étage constituent le fond du vallon et les flancs des coteaux ; les calcaires noduleux fissurés et perméables qui les surmontent forment les sommets des coteaux et demeurent partout en contre-haut du niveau de la retenue. La superficie de ce bassin versant est de 5 400 hectares. La superficie du réservoir au niveau de la retenue est de 278 hectares ; celle des terrains acquis est de 305 hectares¹. La capacité du réservoir est de 16 100 000 mètres cubes ; mais un volume d'eau de 726 000 mètres cubes, situé en contre-bas du plan d'eau du bief de partage, dans lequel débouche la rigole d'adduction des eaux au canal, ne peut être utilisé pour l'alimentation et doit être laissé dans le réservoir, où il assure d'ailleurs la conservation du poisson ; la capacité utile du réservoir se trouve ainsi réduite à 15 374 000 mètres cubes.

La digue est rectiligne et normale à la vallée. — Sa longueur totale, y compris le vannage de décharge et le déversoir qui la prolongent sur la rive gauche, est de 492 m. 50 ; défalcation faite de ces ouvrages de décharge établis en déblai à flanc de coteau, la longueur de la digue proprement dite en remblai est de 459 m. 50. — Le point le plus bas du terrain de la vallée est à 14 m. 45 au-dessous du niveau de la retenue. La modération de cette hauteur de retenue, l'abondance des terres argileuses d'alluvion très aptes au corroyage qui recouvrent le fond de la vallée, la simultanéité de l'exécution de la grande tranchée du bief de partage située à proximité, tranchée qui comportait l'extraction d'un cube important de menu gravier, dont le mélange avec les terres argileuses permettait d'obtenir artificiellement des terres à corroi ayant la teneur désirable en matières sableuses,

1. Les règles qui ont été suivies pour la fixation de la limite des emprises sont les suivantes :

1° Dans les parties où il n'était pas nécessaire d'établir un chemin latéral au réservoir pour la desserte des propriétés riveraines, la largeur du franc-bord entre la ligne d'eau et la limite d'emprise, franc-bord devant servir d'assiette à la double rangée de plantations périmétrales, était fixée à 5 mètres.

2° Dans les parties où un chemin latéral de desserte devait être ménagé, la largeur du franc-bord était portée à 8 mètres.

5° Toutes les fois que la limite d'emprise, déterminée par l'une ou l'autre des conditions précédentes, se trouvait à moins de 0 m. 20 en contre-haut du plan d'eau, elle était reportée jusqu'à l'horizontale du terrain tracée à 0 m. 20 en contre-haut de ce plan. Cette dernière condition a conduit à acquérir des francs-bords d'une largeur considérable à leur traversée des thalwegs des wallons, où la pente du terrain était faible.

ne permettaient aucune hésitation sur le mode de construction à adopter : une digue en terre s'imposait. — Le couronnement de la digue est établi à 2 m. 10 en contre-haut du niveau de la retenue; il est surmonté d'un parapet de 1 m. 25 de hauteur. La largeur de la digue au couronnement est de 5 m. 50; le talus extérieur est, dans les parties de grande hauteur, divisé en trois gradins séparés par des banquettes de 2 mètres de largeur en pente de 10 pour 100; la hauteur des deux gradins supérieurs est de 5 m. 20; celle du gradin inférieur atteint 5 m. 60 dans le thalweg. L'inclinaison du talus extérieur est de 3 de base pour 2 de hauteur dans le gradin supérieur, de 7 de base pour 4 de hauteur dans le gradin intermédiaire, de 2 de base pour 1 de hauteur dans le gradin inférieur. Le talus intérieur présente une inclinaison générale de 3 de base pour 2 de hauteur; il est partagé en gradins de 1 m. 70 de hauteur inclinés à 1 de base pour 1 de hauteur et séparés les uns des autres par des banquettes de 1 mètre de largeur en pente de 10 pour 100. Le nombre des gradins est de 9 dans la partie où le profil est complet; la hauteur du gradin inférieur atteint à titre exceptionnel 1 m. 83 au point où le terrain est le plus déprimé. Les gradins et les banquettes, dont l'ensemble constitue le talus intérieur, sont, ainsi que la partie de 3 mètres de largeur du couronnement qui est située en deçà du parapet, revêtus par une maçonnerie formée d'une couche de fondation en béton et d'une assise de moellons smillés de 0 m. 20 à 0 m. 35 de queue. — L'épaisseur de cette maçonnerie de revêtement, mesurée normalement à l'inclinaison, est de 0 m. 50 au pied et de 0 m. 40 au sommet des gradins; sur les banquettes, cette épaisseur varie entre 0 m. 325 et 0 m. 355. Les angles saillants des gradins et des banquettes sont formés par de petits coussinets en pierre de taille. Le pied du gradin inférieur est reçu par un cours de coussinets, de 0 m. 35 d'épaisseur, qui forme le couronnement du mur de garde.

Le mur de garde est un écran descendu dans le terrain naturel à travers les couches d'alluvion et les couches d'argile mélangées de détritux végétaux et de gravier qui recouvrent les marnes bleues dures et franchement litées du lias moyen, couches qui ne paraissaient pas présenter des garanties suffisantes d'imperméabilité sous de grandes pressions. Il a pour but de s'opposer à toute filtration d'eau de l'amont à l'aval au-dessous du corps de la digue, à travers les couches superficielles peu compactes du terrain naturel. Ce mur, de 1 m. 25 de largeur uniforme, est fondé sur un lit de béton de 0 m. 50 d'épaisseur; il suit le pied du talus amont de la digue et est intimement lié à son sommet avec les maçonneries de revêtement du gradin inférieur. Il est doublé d'un corroi, dont la largeur augmente progressivement de la base au sommet par des gradins de 1 mètre de largeur taillés dans le terrain naturel, corroi qui se relie lui-même au massif des remblais de la digue. La liaison entre ce massif et le terrain naturel est complétée, en arrière du mur de garde et du corroi qui lui est accolé, par un décapage général du terrain sur une profondeur minima de 0 m. 50 et

par quatre clefs d'ancrage en terre corroyée de 1 m. 50 de largeur descendues, la première à 1 m. 55, la deuxième à 1 m. 25 et les deux autres à 1 mètre en contre-bas du terrain naturel.

La profondeur du mur de garde en contre-bas du terrain naturel augmente progressivement des extrémités à la partie centrale de la digue; elle n'est que de 2 mètres environ aux extrémités (exactement 2 m. 09 à l'extrémité gauche et 1 m. 97 à l'extrémité droite), où les marnes bleues ne sont recouvertes que par des couches minces d'argile et de terre végétale; elle atteint 5 m. 70 dans la partie centrale, où les couches d'alluvion ont une puissance beaucoup plus grande. Dans cette dernière partie, sur une longueur de 174 mètres à droite des bondes de fond, on a même renoncé à atteindre les marnes franchement litées; on s'est borné à traverser les alluvions et on a arrêté l'écran dans la couche liasique supérieure formée de marnes désagrégées et boueuses, connues dans le pays sous le nom caractéristique de marnes pourries. Ce fut sans doute une faute, et l'humidité qui règne aujourd'hui dans la prairie du fond de la vallée en aval de la digue est généralement attribuée à des suintements qui se produiraient au-dessous de la partie centrale du mur de garde, à travers cette couche de marnes pourries qui n'est peut-être pas suffisamment compacte pour demeurer complètement étanche sous des pressions élevées et continues. Sans affirmer rien sur ce point délicat et tout en reconnaissant, au contraire, qu'il n'existe aucune filtration apparente, que le contre-fossé creusé le long du pied extérieur de la digue demeure constamment à sec, que le niveau aquifère de la prairie n'est pas influencé par les variations du niveau de la retenue du réservoir et que l'excès d'humidité dont souffre la prairie est dû pour une large part à l'absence d'entretien de ses moyens d'assainissement, nous croyons cependant qu'il eût été plus sage d'encasterner partout le pied du mur de garde dans la marne bien compacte et franchement litée, comme cela a été fait pour les parties latérales.

Il résulte de la courte description précédente que la plus grande hauteur de la plate-forme de la digue au-dessus du terrain naturel est de 16 m. 53 et que la plus grande hauteur des constructions, mesurée entre le couronnement du parapet et le pied du mur de garde, est de 25 m. 47. La plus grande largeur de la base de la digue est de 61 m. 02. La figure 5 de la planche I représente le profil transversal de la digue au point où elle est le plus élevée.

Les terres dont on disposait étaient très argileuses et ne renfermaient guère qu'un tiers de matières sableuses. Aussi le corroi fut-il composé par un mélange artificiel de ces terres avec du menu gravier, dans la proportion de 2 volumes de terre pour un de gravier calcaire de la vallée de la Marne. Ce gravier provenait de la tranchée du versant de la Marne du bief de partage, dont l'exécution était simultanée de celle du réservoir; la distance moyenne de transport de ce gravier était de 5567 mètres. On ne peut que s'applaudir de n'avoir pas reculé devant la dépense supplémentaire

qu'entraînait le transport à grande distance d'un tiers du volume du massif de la digue, le mélange de terre argileuse et de sable ayant procuré un corroi excellent, absolument imperméable et qui n'a donné lieu après exécution qu'à des tassements insignifiants. Le volume de la digue après corroyage est de 174 200 mètres cubes; celui des terres et du gravier qui y sont entrés, mesuré d'après le vide des fouilles, est de 196 995 mètres cubes. Le retrait dû au corroyage, retrait qui, dans une certaine mesure, peut être pris comme caractéristique de la qualité du corroi, a donc été, dans la digue de la Liez, de 11,57 pour 100.

Digue de Wassy. — Le réservoir de Wassy est établi dans le vallon du ruisseau de Leschères, affluent de gauche de la Blaise. Le bassin versant de ce ruisseau est très faible; il n'excède pas 270 hectares et ne contribue que fort peu au remplissage du réservoir. Ce remplissage est assuré par les eaux de la Blaise elle-même, dérivées à 9900 mètres en amont et amenées au réservoir par une rigole. La superficie du réservoir au niveau de la retenue est de 45 hectares; celle des terrains acquis de 52 hect. 22 ares. La capacité du réservoir est de 2146 000 mètres cubes.

La digue est construite en terre corroyée. Sa longueur totale est de 467 m. 75. Elle est rectiligne dans sa partie centrale sur 158 m. 20; ses extrémités se retournent vers l'amont par des courbes de 150 mètres de rayon sur la rive gauche et de 50 mètres de rayon sur la rive droite, et vont ainsi s'enraciner dans les coteaux suivant leur ligne de plus grande pente.

Le profil type de la digue diffère peu de celui de la Liez; la largeur en couronnement n'est que de 5 mètres; la revanche sur le niveau de la retenue est de 2 mètres; le parapet a été remplacé par une simple banquette en terre de 0 m. 60 de hauteur. Le talus d'aval, lorsqu'il est complet, est divisé en trois gradins séparés par des banquettes de 2 mètres de largeur. Les inclinaisons de ces gradins et celle des banquettes sont les mêmes qu'à la Liez; mais la hauteur des gradins atteint 5 m. 92. Le talus d'amont, d'une inclinaison générale de 5 de base pour 2 de hauteur, est partagé en 10 gradins de 1 m. 65 de hauteur inclinés à 4 de base pour 1 de hauteur et séparés par des banquettes de 0 m. 975 de largeur présentant une pente totale de 0 m. 10. Les revêtements en maçonnerie du talus amont sont identiques à ceux de la digue de la Liez. La plus grande hauteur du plan d'eau de la retenue au-dessus du terrain naturel est de 15 m. 90; la plus grande hauteur de la plate-forme au-dessus de ce même terrain est de 17 m. 90; la plus grande largeur de la base de la digue est de 65 m. 60.

Le mur de garde, sur lequel repose le pied du gradin inférieur, est entièrement en béton; il remplit exactement la fouille ouverte pour sa construction, laquelle présentait une largeur au plafond de 0 m. 80 et

était limitée par des talus ayant un fruit d'un dixième. Ce mur n'est pas, comme dans la digue de la Liez, doublé par un corroi. Il n'existe pas non plus en arrière de clefs de liaison entre le massif des remblais corroyés et le terrain naturel, mais ce terrain a été, préalablement à l'édification de la digue, décapé sur une épaisseur de 0 m. 60 et sur toute l'étendue de la base d'appui.

Le sous-sol de la vallée, à l'emplacement de la digue, est formé par le calcaire portlandien supérieur; sur le coteau de rive gauche, ce calcaire est recouvert d'abord par une couche d'argile sableuse imperméable et ensuite par une couche perméable de sable argilo-ferrugineux, l'épaisseur de ces deux couches réunies variant entre 5 et 6 mètres; dans le thalweg, la couche de sable subsiste seule et sa puissance varie de 2 m. 50 à 4 mètres; sur le coteau de rive droite, le rocher calcaire n'est recouvert que par une mince couche de terre, dont l'épaisseur vers le milieu de la hauteur de la digue descend à moins de 0 m. 50, mais la partie supérieure du rocher sur une épaisseur importante est cassée et fendillée en tous sens. Le mur de garde règne sur une longueur de 366 m. 15, légèrement supérieure à celle baignée par la retenue, les enracinements dans les coteaux n'en ayant point été pourvus. Dans le coteau de rive gauche, sur la longueur de 128 mètres, il traverse la couche de sable et s'arrête dans la couche d'argile imperméable sous-jacente; sa hauteur y varie entre 4 m. 21 et 5 m. 21. Partout ailleurs, il pénètre et s'encastre dans le calcaire portlandien en descendant en contre-bas du terrain naturel à des profondeurs variant entre 5 m. 84 et 7 m. 75; mais, sur la plus grande partie du coteau de droite, on n'a pu atteindre les bancs non fendillés du rocher et des filtrations, d'autant plus importantes que la retenue est plus élevée, se produisent à travers les fissures du calcaire au-dessous de cette partie du mur de garde. La plus grande hauteur des constructions, mesurée entre le sommet de la banquette de 0 m. 60 qui tient lieu de parapet et le pied du mur de garde, est de 22 m. 75.

Les terres employées dans le corroi proviennent en partie des terrassements du canal, dont l'exécution était simultanée de celle de la digue, et en partie d'emprunts faits dans le vallon des Leschères; elles ont été employées telles qu'elles sortaient des fouilles, sans aucun mélange de matières étrangères.

Le volume de la digue après corroyage est de 82 500 mètres cubes, celui des terres qui y sont entrées, mesuré d'après le vide des fouilles, est de 91 020 mètres cubes. Le retrait dû au corroyage a donc été de 9,56 pour 100.

Digue de la Mouche. — La Mouche est un affluent important de rive gauche de la Marne; elle se jette dans cette rivière à Humes. Le bassin versant du réservoir, de 6 500 hectares de superficie, est formé presque en totalité par les calcaires perméables de l'oolithe inférieure qui affluent

sur la majeure partie du plateau de Langres ; à l'ouest de ce bassin et sur une étendue relativement faible, on rencontre le fuller's-earth et la grande oolithe. La vallée de la Mouche forme une entaille étroite et encaissée dans ce vaste plateau de calcaire oolithique ; toutes les eaux qui se sont infiltrées dans le calcaire sont arrêtées à la base de la formation oolithique par les marnes brunes imperméables du lias supérieur qui affleurent dans le thalweg et sur les flancs de la vallée et elles apparaissent, par des sources nombreuses, permanentes et à régime relativement régulier, à la naissance de tous les vallons secondaires tributaires de la Mouche. C'est sur ces marnes du lias supérieur, qui forment le sous-sol de toute la haute vallée de la Mouche, qu'est fondée la digue construite en face du village de Saint-Ciergues, au point où la vallée est le plus resserrée. La capacité du réservoir est de 8 648 000 mètres cubes ; elle est bien inférieure au débit annuel de la Mouche qui, pendant l'année 1891, la première pendant laquelle le réservoir ait été mis en eau, a été de 26 685 000 mètres cubes pour une hauteur d'eau tombée de 0 m. 800, légèrement inférieure à la moyenne des dix dernières années. Aussi est-on assuré de remplir facilement le réservoir, tout en ménageant d'une manière permanente l'écoulement, par les ouvrages de prise d'eau de la digue, d'un volume d'eau important, largement suffisant pour les besoins des usines d'aval, dont la situation générale sera sensiblement améliorée par la plus grande régularité du débit de la rivière, dont les crues seront emmagasinées et serviront à renforcer le débit d'étiage de la saison sèche suivante.

La superficie du réservoir au niveau de la retenue est de 97 hect. 46 ares ; celle des terrains acquis est de 101 hect. 96 ares. La digue est rectiligne et normale à la vallée. Sa longueur est de 410 m. 25. La hauteur de la retenue est de 20 m. 98 au-dessus de la prairie dans le thalweg sur le bord de la Mouche et de 22 m. 55 au-dessus du seuil de la bonde de fond établi sensiblement au niveau du fond de cette rivière.

La marne en roche compacte n'est rencontrée dans le thalweg qu'à 6 m. 50 ou 7 mètres en contre-bas du terrain naturel, et elle se relève beaucoup moins vite que lui sur les coteaux, en sorte qu'elle se trouve à l'enracinement de la digue sur la rive gauche à 11 m. 50 et à l'enracinement sur la rive droite à 20 mètres de profondeur au-dessous du sol.

Au-dessus de la marne en roche dure se trouve une couche de marne non compacte appartenant à la même formation géologique, en minces feuilles dans le thalweg où son épaisseur varie de 1 à 4 mètres, non litée et bonense, ponrrie, suivant l'expression locale, sur le flanc des coteaux, où son épaisseur varie de 4 à 17 mètres. Ces terrains anciens sont recouverts par les alluvions modernes, dont l'épaisseur varie entre 5 et 6 mètres dans le thalweg, où elles sont formées d'une couche inférieure perméable de sable et gravier et d'une couche supérieure argileuse, et entre 0 m. 50 et 8 mètres sur le flanc des coteaux, où elles ne forment qu'une couche

unique de terre argileuse mélangé de pierrailles et d'éboulis rocheux.

La grande hauteur de la retenue, la proximité de la riche carrière de pierre de la Fontaine au Bassin située sur le sommet du coteau de rive droite, un peu en aval de la digue, à une distance de 1 800 mètres mesurée suivant les chemins, et de 5 600 mètres suivant la voie ferrée en lacet établie par l'entreprise, et par-dessus tout la très mauvaise qualité des terres végétales brunes, mélangées de pierrailles et dépourvues de sable de la vallée de la Mouche, ainsi que l'absence de toute terre véritablement apte au corroyage dans la région circonvoisine, telles sont les raisons qui ont déterminé les ingénieurs à construire en maçonnerie la digue de la Mouche, nonobstant l'énorme profondeur que devaient atteindre, notamment aux extrémités, les fondations sur la roche marnaise solide.

La disposition des lieux nécessitait impérieusement le passage sur le sommet de la digue du chemin vicinal de Saint-Ciergues à Perrancey, les tracés de la déviation de ce chemin contournant le réservoir ne pouvant qu'entraîner des allongements de parcours considérables, qu'il eût été absolument impossible de faire accepter par les populations intéressées.

L'emplacement du parapet, celui du chemin vicinal et de la plinthe portant le garde-corps nécessaire pour protéger le chemin du côté aval, exigeaient que la largeur du couronnement fût de 7 m. 60, tandis qu'une largeur au sommet moitié moindre était celle qui convenait le mieux à une digue de la hauteur de celle de la Mouche. M. Carlier, alors ingénieur en chef du service, aujourd'hui inspecteur général, émit une idée extrêmement heureuse qui permit de ne donner au couronnement du massif de la digue que la largeur convenable tout en assurant le passage du chemin et en donnant au parement aval de la digue un aspect architectural des plus satisfaisants, que ne présentait aucune des digues en maçonnerie construites jusqu'ici. — Il limita à 5 m. 50 la largeur en couronne du mur de réservoir proprement dit, en sorte qu'on ne pouvait établir sur ce mur que le parapet et un peu moins de la moitié amont de la largeur du chemin; pour supporter le surplus de cette largeur, il accola au mur de réservoir une sorte de viaduc formé d'arches en plein cintre de 5 m. 50 de largeur et de 8 mètres d'ouverture, dont les piles venaient reposer sur le fruit courbe du parement aval du mur. La largeur de 7 m. 60 nécessaire était complétée par un encorbellement de 0 m. 60 donné à la plinthe, que supportaient des corbeaux faisant eux-mêmes saillie de 0 m. 40 sur le nu des tympans.

L'usage a prévalu dans le service de désigner cette partie de l'ouvrage sous le nom de demi-viaduc, sans doute parce qu'elle ne supporte qu'environ la moitié de la largeur du chemin franchissant la vallée; nous adopterons aussi cette dénomination.

La digue en maçonnerie de la Mouche est donc composée de deux parties : le mur de réservoir proprement dit et un demi-viaduc accolé à son parement aval et dont les piles reposent sur la partie inférieure de ce parement.

Le mur de réservoir a son couronnement, de 5 m. 50 de largeur, établi à 2 m. 05 au-dessus du niveau de la retenue. Il est surmonté d'un parapet de 1 m. 05 de hauteur, dont la base continue le parement amont du mur. Ce parement présente un fruit rectiligne uniforme de 0 m. 02 par mètre sur la totalité de sa hauteur. Le parement aval est vertical à sa partie supérieure jusqu'au point situé à 4 m. 50 au-dessous du niveau de la retenue. Entre les points situés à des hauteurs comprises entre 4 m. 50 et 20 m. 90 au-dessous de ce niveau, il est formé successivement par deux arcs de circonférence tournant leur concavité vers l'extérieur du mur : le premier, de 7 mètres de rayon, règne sur une hauteur de 5 m. 11 et se raccorde tangentiellement avec le parement vertical supérieur; le second, de 55 mètres de rayon, règne sur une hauteur de 15 m. 29 et se raccorde tangentiellement avec le précédent. — Au delà de la hauteur de 20 m. 90 mesurée au-dessous du niveau de la retenue, le parement redevient rectiligne et présente un fruit de 0 m. 945 par mètre qui se raccorde tangentiellement avec l'arc de 55 mètres de rayon. Ce profil conduit aux largeurs suivantes :

à 4 ^m ,50	au-dessous du niveau de la retenue.	. . . .	5 ^m ,651
à 10,00	—	—	5,728
à 15,00	—	—	8,985
à 20,00	—	—	15,091
à 25,00	—	—	17,907
à 27,45	—	—	20,266

En contre-bas du niveau général de fondation du mur de réservoir, lequel se trouve toujours à 1 mètre au-dessous de l'affleurement de la roche marneuse compacte, trois murs d'ancrage pénètrent profondément dans cette roche : le premier, établi sous l'extrémité amont de la base du mur, a 5 mètres de largeur sur 5 mètres de profondeur; les deux autres, placés sous l'extrémité aval et sous le milieu de cette base, ont 2 mètres de largeur sur 2 mètres de profondeur. — L'ancrage du milieu a été supprimé dans les parties où la base de la digue avait moins de 12 m. 50 de largeur; il ne règne que sur une longueur de 285 mètres. — Le mur d'ancrage d'amont, le plus grand, a, par analogie avec les digues en terre, été appelé mur de garde. Nous lui conserverons cette dénomination, bien qu'elle devienne ici assez impropre, puisque ce mur est entièrement encastré dans la roche et que sa base se trouve à 4 mètres au-dessous de l'affleurement de cette roche. — Dans le profil de la plus grande hauteur représenté sur la fig. 1 de la planche II, le niveau général des fondations est à 28 m. 82 en contre-bas du niveau de la retenue; mais le fruit d'aval a été arrêté à 27 m. 45 au-dessous de ce niveau et le fruit de 0 m. 02 par mètre du parement amont a seul été poursuivi jusqu'au bas. La plus grande largeur de la digue à la base est ainsi de 20 m. 295. — La plus grande hauteur est de 50 m. 87 entre le couronnement et le niveau général des fondations et de 54 m. 92 entre le sommet du parapet et le pied du

mur de garde. — Le parement amont, formé de moellons grossièrement ébauchés, a été recouvert de trois couches de goudron flambé, puis blanchi à la chaux pour éviter la trop grande absorption de la chaleur par la couleur noire.

Le demi-viaduc accolé au parement aval de la digue se compose de 40 arches en plein cintre de 8 mètres d'ouverture réparties en 8 groupes de 5 arches chacun séparés les uns des autres par une pile culée. — Les piles ordinaires ont 1 m. 80 de largeur aux naissances; les piles culées ont 2 m. 80 et leur partie centrale, sur une largeur de 1 m. 80, est occupée par un contrefort, en saillie de 0 m. 40 sur le nu des tympans.

Les piles culées et leurs contreforts ne répondent à aucune nécessité; ils n'ont été établis que dans un but purement décoratif, afin de donner à l'ouvrage vu d'aval un aspect analogue à celui que l'œil est habitué à observer dans les viaducs ordinaires. C'est dans le même but que les extrémités de la digue, qui reçoivent la butée des quarts de cône, simulent les culées d'un viaduc. — Les chaînes d'angle des piles et des contreforts des piles culées sont, ainsi que les bandeaux des voûtes, pourvues de bossages; les tympans, les parements des piles et les douelles des voûtes sont en moellons smillés régulièrement assisés et se détachent nettement sur le fond formé par le parement aval du mur de réservoir, qui est composé d'une mosaïque en moellons hexagonaux de grandes dimensions parsemée de pierres en saillie destinées à recevoir les échafaudages d'entretien. Cet ensemble de dispositions très simples, mais très heureusement choisies, donne à la digue vue d'aval un aspect architectural véritablement grandiose. Tout l'effet est obtenu par les énormes saillies du demi-viaduc sur le parement aval courbe du mur de réservoir et par les ombres considérables qu'elles projettent. Nul mode de décoration ne pouvait mieux convenir à une aussi immense surface que celle d'une digue en maçonnerie.

Le demi-viaduc est pourvu, au-dessus de l'extrados des voûtes, d'évidements formés de voûtelettes longitudinales en plein cintre, de 2 m. 25 d'ouverture, dont le pied-droit amont n'est autre que la partie supérieure du mur de réservoir proprement dit. Une chape générale est établie sur le couronnement du mur de réservoir et sur les voûtelettes d'élégissement du demi-viaduc et sépare les maçonneries de la chaussée du chemin, dont les eaux sont jetées dans le réservoir par des dalots établis au-dessus des clefs de quelques-unes des voûtes du demi-viaduc, points où l'interruption des voûtelettes d'élégissement permet de disposer d'une hauteur suffisante pour leur établissement. — Dans le sens longitudinal, les piles et les contreforts des piles culées présentent un fruit de 0 m. 02 par mètre. Dans le sens transversal, le parement aval des piles et des contreforts est vertical jusqu'au point situé à 5 m. 294 en contre-bas du niveau de la retenue; au-dessous de ce point, il est formé par un arc de circonférence se raccordant tangentiellement avec la partie verticale et tournant sa concavité vers l'extérieur, arc dont le rayon est de 21 m. 965 pour le parement des piles

et de 23 m. 221 pour celui des contreforts. — Ces courbes viennent rencontrer presque tangentielllement le parement aval du mur de réservoir au point situé à 20 mètres en contre-bas de la retenue, en sorte que ce n'est que dans les parties situées à plus de 20 mètres au-dessous de la retenue, lesquelles sont presque totalement noyées dans les terres comme le montre l'élévation (fig. 1 de la planche 1), que le parement du mur de réservoir est nu et dépouillé de tout motif d'ornementation.

Le profil du mur de réservoir a été déterminé par la méthode préconisée par M. Bouvier et perfectionnée par M. Guillemain, sauf substitution après coup de courbes géométriques régulières s'écartant extrêmement peu des lignes brisées obtenues. Le poids du mètre cube de maçonnerie, qui constitue la donnée essentielle, avait été déterminé avec le plus grand soin par une expérience directe. Un massif de 4 mètres cubes avait été construit avec les mêmes matériaux qui devaient constituer la digue et avec du mortier de même dosage sur un pont-bascule de 10 tonnes dépendant de la citadelle de Langres, mis par le Génie militaire à la disposition du service pendant une période de 50 jours. Des pesées étaient faites tous les 5 jours. Le poids du massif diminua d'abord graduellement pendant 25 jours, durée de la dessiccation du mortier; il ne subit plus ensuite que des variations très faibles dues sans aucun doute à l'état de l'atmosphère et à l'absorption de l'humidité par les matériaux des parements et par le tablier du pont. Pendant les 25 derniers jours de l'expérience, les poids spécifiques extrêmes relevés furent 2 147 kilogrammes, le 17 juillet à la fin d'une période de très forte chaleur, et 2 161 kilogrammes, le 26 juillet à la suite d'une abondante pluie d'orage. — On adopta, dans les calculs, le poids spécifique de 2 150 kilogrammes.

Le profil fut déterminé par la méthode des sections horizontales distantes de 2 mètres les unes des autres et vérifié ensuite par la considération des sections obliques rayonnant du pied du parement amont et de divers points pris dans la moitié inférieure du parement aval. Dans un cas comme dans l'autre, la compression sur l'arête la plus chargée fut calculée, non en ne considérant, comme le faisaient MM. Graëff et Delocre, le massif supérieur comme appuyé sur la section considérée que par la composante normale au plan de cette section de la résultante des forces agissant sur le massif, mais bien en le considérant, avec MM. Bouvier et Guillemain, comme appuyé par la totalité de cette résultante et en ne comptant comme surface d'appui utile que la projection de cette surface sur un plan normal à la résultante. On s'est de plus imposé comme condition absolue que la courbe des pressions, le réservoir étant plein, passe à l'intérieur du tiers médian de toutes les sections considérées. Cette condition a primé celle relative à la limite de compression sur le parement aval dans la partie supérieure du mur, sur une hauteur de 15 mètres comptée à partir du niveau de la retenue. Dans cette partie, la largeur du mur a donc été déterminée par la considération de maintenir la courbe des pressions dans

le tiers médian et les pressions sur le parement aval y sont inférieures à la limite qu'on s'était assignée. Il ne peut donc y avoir d'effort à la traction en aucun point du parement amont.

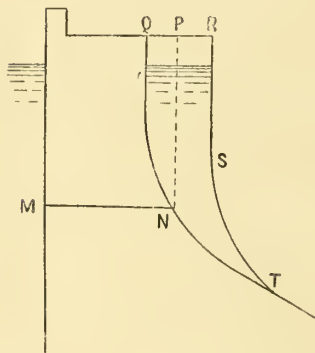
Mais on n'a pas eu devoir satisfaire à cette autre condition que, le réservoir étant vide, la courbe des pressions, qui n'est autre alors que celle des centres de gravité, demeure également à l'intérieur du tiers médian. Elle en sort légèrement dans la partie inférieure du mur; il eût fallu, pour l'éviter, augmenter le fruit au pied du parement amont, et on ne l'a pas fait pour les raisons suivantes :

1° La courbe des centres de gravité ne sort que légèrement du tiers médian à la partie inférieure de la digue (de 0 m. 585 à 27 mètres au-dessous du niveau de la retenue) et les efforts à la traction qui pourraient se développer au pied du parement aval lorsque le réservoir est vide seraient nécessairement très faibles et inférieurs à la cohésion des maçonneries ;

2° Le danger d'une fissure sur le parement aval, en supposant qu'elle pût se produire, ne serait nullement du même ordre que celui d'une fissure sur le parement amont, puisque l'eau ne pourrait y pénétrer, le parement aval n'étant jamais en contact avec l'eau sous pression ;

3° Enfin l'hypothèse du réservoir complètement vide jusqu'au pied du mur ne peut se réaliser, même pendant la période de construction, puisque le pied du mur est partout enfoncé profondément dans les terres, que les eaux retenues par la digue ne peuvent trouver d'issue en contre-bas du seuil de la bonde de fond et que les terres situées au-dessous de ce seuil seront toujours imprégnées d'eau et exerceront, par suite, une poussée sur le pied du parement amont du mur.

Le demi-viaduc accolé à la partie supérieure du parement aval du mur de réservoir soulevait une question nouvelle : quelle était son influence sur la résistance de la digue? Il a été tenu compte de cette influence à la fois dans la détermination du profil QNT (voir le croquis ci-contre) du mur de réservoir proprement dit et dans celle du raccordement ST des piles du demi-



viaduc avec le parement aval du mur, et cela de la manière suivante :

1° En ce qui concerne le mur proprement dit, lorsqu'on considérait une section MN de ce mur, on tenait compte, dans l'évaluation des forces agissant sur le massif situé au-dessus de cette section, du poids de la partie QPN du demi-viaduc située en amont de la verticale PN et ce poids était supposé uniformément réparti sur toute la longueur. Cette dernière hypothèse est évidemment rigoureuse lorsque la section considérée MN se trouve dans la partie inférieure du mur ; pour les sections faites dans la

partie supérieure, elle correspond aux conditions moyennes de stabilité d'une tranche de mur d'une longueur égale à l'ensemble d'une arche et d'une pile, mais elle cesse d'être exacte pour les différentes parties de cette tranche considérées séparément. Il n'y avait néanmoins aucun inconvénient à étendre cette hypothèse de l'égale répartition à la partie supérieure de la digue, car dans cette partie elle est plus défavorable que la répartition qui se produit réellement. L'action du poids de la partie QPN du demi-viaduc est, en effet, maxima dans le voisinage des piles et minima au droit des clefs des arches. Les parties du mur voisines des piles ne sauraient donner lieu à aucune inquiétude, puisqu'elles sont consolidées par les piles qui agissent sur elles à la façon de contreforts, tandis que, à l'aplomb des clefs, l'introduction du poids de la partie QPN, qui reporte le centre de gravité du mur vers l'aval, conduit à renforcer le profil. Si on trace, en effet, les courbes des pressions, d'une part en tenant compte du poids des parties telles que QPN du demi-viaduc, supposé uniformément réparti sur toute la longueur, et d'autre part en négligeant complètement ce poids, on constate que la première courbe est en aval de la première sur toute la hauteur située à moins de 14 mètres au-dessous de la retenue et que les deux courbes se coupent à ce niveau. En tenant toujours compte dans la détermination du profil du poids du demi-viaduc, on a donc agi avec sagesse, puisque, au-dessus du point situé à 14 mètres en contre-bas du niveau de la retenue, on a ainsi choisi l'hypothèse la plus défavorable à la résistance et que, au-dessous de ce point, alors que l'hypothèse de l'égale répartition sur toute la longueur du poids du demi-viaduc devient favorable, cette hypothèse est incontestablement très voisine de la vérité ;

2° Le raccordement ST des piles du demi-viaduc avec le parement aval du mur a été déterminé en considérant la section droite de la digue passant par l'axe d'une pile comme un mur de réservoir de 7 mètres de largeur en couronne, ne présentant d'autre vide que celui de la voûtelette d'élégissement du demi-viaduc. La détermination du parement aval de ce mur a donné une ligne RST coupant sensiblement à 20 mètres au-dessous du niveau de la retenue le parement QNT.

Les calculs de résistance de la digue font ressortir les pressions maxima suivantes par centimètre carré :

Sur le parement aval, le ré- servoir étant plein.	Sections hori- zontales. . .	{	à 4 m. 50 au-dessous de la retenue. . . .	5 ^k 58
			à 10 mètres — — — — —	4 ^k 95
			à 16 — — — — —	5 ^k 95
			à 22 — — — — —	5 ^k 92
			à 27 — — — — —	6 ^k 15
	Sections obli- ques	{	Section partant du parement aval à 16 mètres au-dessous de la retenue et inclinée à 26° 5'	
			vers l'amont.	6 ^k 09
			Section partant du parement aval à 22 mètres au-dessous de la retenue et inclinée de 18°- 19' vers l'amont.	6 ^k 26
			Sur le parement amont, à 27 mètres au-dessous du niveau de la retenue, le réservoir étant vide.	2 ^k 36

Des pressions de 6 kilogrammes et de 6 kilogr. 56 par centimètre carré peuvent être supportées en toute sécurité aussi bien par la maçonnerie en moellons calcaires oolithiques durs de la Fontaine au Bassin que par la marne en roche dure et compacte du lias supérieur, qui ne s'altère jamais lorsqu'elle est maintenue à l'abri de toute action de l'air.

Les fondations, encastrées partout de 1 mètre dans la roche compacte, présentent, dans la digue de la Mouche, une importance exceptionnelle ; les maçonneries enfouies sous le sol y représentent, en effet, 56 pour 100 du cube total des maçonneries de la digue. La profondeur du niveau général de fondation en contre-bas du terrain naturel n'est nulle part inférieure à 7 m. 26 dans le thalweg et elle atteint 12 m. 47 à l'enracinement sur la rive gauche et 21 m. 01 à l'enracinement sur la rive droite. Le mur de garde est, nous le rappelons, descendu encore à 5 mètres plus bas que la fondation générale, en sorte que sa base se trouve, aux extrémités de la digue, enfoncée de 15 m. 48 et de 24 m. 01 dans le terrain naturel.

Dans les enracinements, sur une longueur de 105 m. 15, dans le coteau de rive droite et de 95 m. 75 dans celui de rive gauche, le fruit curviligne du parement aval a été arrêté à 10 mètres en contre-bas du terrain naturel et on lui a substitué au-dessous un fruit rectiligne de 0 m. 075 par mètre. On a cru pouvoir agir ainsi tant parce que, dans ces parties, la digue est sur une hauteur considérable complètement encastrée dans les terres, que parce qu'on a considéré comme impossible que l'eau pût encore parvenir sous pression à une profondeur de 10 mètres, après avoir traversé les remblais soigneusement corroyés devant le parement amont, cette eau devant nécessairement, en filtrant à travers le corroi, s'il n'est pas tout à fait imperméable, perdre toute la pression qu'elle tenait de la hauteur de la retenue. La figure 4 de la planche 11 représente le profil d'enracinement de la digue.

Ouvrages accessoires.

Prises d'eau. — L'ouvrage contenant les prises d'eau de la digue de la Liez est placé à 72 m. 50 de l'extrémité gauche de la digue proprement dite. Il se compose de trois parties : 1° un puits vertical cylindrique, de 1 m. 20 de diamètre intérieur, placé sensiblement dans l'axe de la digue et dont le radier, formé par une pierre de taille, est creusé en forme de cuvette de 0 m. 50 de profondeur ; 2° deux grands rampants ou murs en aile droits en maçonnerie partant de ce puits et s'avancant jusqu'au pied du talus amont en laissant entre eux un chenal de 1 m. 20 de largeur libre ; ces rampants, dans le couronnement est dérasé suivant le profil des gradins et des banquettes du talus amont, sont reliés par 12 voûtelettes de décharge très surbaissées de 0 m. 90 de longueur ; 3° un aqueduc très surbaissé de 1 m. 20 d'ouverture et de 1 m. 84 de hauteur sous clef partant

du fond du puits et allant déboucher au pied du talus aval, au delà duquel il est continué par un chenal maçonné formant l'origine de la rigole d'adduction des eaux au caual. La face amont du puits est percée de deux ouvertures de prise d'eau, de 0 m. 80 de largeur sur 1 m. 40 de hauteur, fermées par des vannes levantes manœuvrées par des crics placés l'un derrière l'autre sur le couronnement du puits. Le seuil de la prise d'eau inférieure, percée à la base du puits, est à 11 m. 09 en contre-bas du niveau de la retenue; celui de la prise d'eau supérieure est de 5 m. 50 en contre-bas de ce même niveau. Des rainures à poutrelles de 0 m. 45 de largeur sont creusées dans les faces internes des rampants à 0 m. 80 en avant de chacune des vannes de prise d'eau.

Le chenal, compris entre deux rampants en maçonnerie, qui s'avance depuis le puits situé au milieu de la digue jusqu'au pied du talus amont, forme, sur la moitié amont de la digue, une coupure complète dans le massif corroyé et nécessite deux jonctions étanches du corroi avec les faces externes des rampants. De sérieux inconvénients résultent de cette interruption du corroi : 1° l'homogénéité de la construction en terre n'est plus complète; le tassement ne peut plus se faire d'une manière régulière et continue sur toute la longueur de la digue et sans entraîner de fissures, puisque la maçonnerie interposée échappe à ce tassement ;

2° La jonction étanche entre les terres et les maçonneries des rampants est très difficile à obtenir, d'autant plus difficile que, bien que les maçonneries ne soient élevées qu'en même temps que le corroi, on ne peut amener le rouleau-compresseur jusqu'aux bords mêmes des maçonneries et que le pilonnage à la main, auquel il faut nécessairement recourir sur ces bords, comprime la terre incomparablement moins bien que le roulage.

2° Cette jonction une fois faite, il est difficile d'espérer que son étanchéité soit durable, le tassement du corroi et des revêtements qu'il supporte devant provoquer des fissures entre eux et les rampants.

4° Enfin, la coupure du chenal constitue une très grande difficulté d'exécution par le fait même qu'elle divise la moitié amont de la digue en deux parties distinctes, qu'il faut cylindrer séparément et successivement. Outre les pertes de temps et les sujétions qui en résultent, il convient d'observer que si, comme à la digue de Wassy, le cylindre est traîné par des chevaux, on est obligé d'arrêter le rouleau assez loin des maçonneries et de pilonner à la main tout l'emplacement nécessaire au virage de l'attelage et que si, comme à la digue de la Liez, le cylindre est tiré par un câble s'enroulant sur des treuils placés aux extrémités de la digue, le cylindre court de sérieux dangers de chute dans la coupure du chenal, puisqu'il suffit, pour qu'une telle chute se produise, de la moindre négligence des mécaniciens conduisant les treuils, soit qu'ils n'aperçoivent pas le signal d'arrêt donné par l'ouvrier qui accompagne le cylindre, soit que, l'ayant aperçu, ils n'exécutent pas la manœuvre avec une diligence suffisante.

Cependant, malgré toutes ces difficultés, les jonctions entre le corroi et les maçonneries ont été bien faites à la digue de la Liez et leur complète étanchéité subsiste. Ce résultat est dû aux soins extrêmes qui ont été apportés à l'exécution : des contreforts nombreux flanquaient les parois externes des rampants et même celles de l'aqueduc de fuite et, en même temps qu'ils consolidaient les ouvrages, rompaient la continuité des surfaces d'application du corroi, y dessinaient une série de saillies et de dépressions facilitant singulièrement l'adhésion des terres ; celles-ci étaient répandues près des maçonneries par couches excessivement minces et pilonnées à outrance ; enfin, la sage lenteur avec laquelle la digue était élevée permettait aux couches inférieures de prendre leur tassement avant l'exécution des couches supérieures. Grâce à toutes ces précautions, les tassements furent insignifiants et une étanchéité parfaite fut non seulement obtenue, mais conservée. Il n'en est pas moins certain que les solutions qui n'exigent pas ces soins minutieux sont de beaucoup préférables. Au nombre de ces solutions, on doit particulièrement recommander celle qui consiste à reporter la tour de prise d'eau complètement en dehors et en amont de la digue, sauf, pour permettre l'accès des crics de manœuvre des vannes, à jeter une passerelle en métal entre le couronnement de la digue et le sommet de la tour ; l'aqueduc de fuite, issu du pied de la tour, passe alors sous la digue ; il peut être encastré à peu près entièrement dans le terrain naturel, puisqu'il doit déboucher en aval de la digue au fond d'un chenal creusé en déblai, et il peut presque toujours être maçonné à pleine fouille. Toute jonction entre le corroi et les maçonneries est ainsi évitée ; les couches des remblais de la digue peuvent être cylindrées d'un seul coup d'une extrémité à l'autre ; le corroi ne forme qu'un seul massif continu et absolument homogène. — Cette solution, tout aussi satisfaisante que celle à laquelle on a eu souvent recours à l'étranger, consistant à construire l'aqueduc de fuite en tunnel sous l'un des coteaux, a sur elle l'avantage d'être beaucoup moins onéreuse.

La solution de la tour isolée, reliée par une passerelle au couronnement de la digue, dont nous avons vu la première application en 1880 au réservoir des water-works d'Édimbourg, au cours d'une mission dont nous avons été chargé à cette époque, et qui a depuis été adoptée en France au réservoir de Torcy-Neuf, n'a malheureusement été connue des ingénieurs du service du canal de la Marne à la Saône que lorsque les travaux de la digue de la Liez étaient déjà trop engagés pour que de profondes modifications pussent être apportées aux dispositions projetées ; elle paraît, en raison des avantages incontestables qu'elle présente sur les autres solutions, devoir prévaloir à l'avenir.

Les bondes de fond ou pertuis de vidange du réservoir de la Liez sont situés dans le thalweg de la vallée à 80 mètres de distance de l'ouvrage des prises d'eau. Elles consistent en deux aqueducs jumeaux accolés très surbaissés, de 0 m. 80 de largeur sur 1 m. 16 de hauteur sous clef, dont le

seuil est à 14 m. 68 au-dessous du niveau de la retenue. Elles se terminent à l'amont par une tête unique formée de deux rampants droits distants de 2 m. 50 qui occupent la largeur de trois gradins inférieurs. Les crics de manœuvre des vannes sont placés sur la troisième banquette à partir du pied de la digue ; ils ne sont mis en place que lorsque cette banquette émerge et que la prise d'eau inférieure, sur le seuil de laquelle la charge n'est plus alors que de 2 m. 19, ne suffit plus à écouler le débit nécessaire à l'alimentation.

A la digue de Wassy, la bonde de fond et les prises d'eau, dont les seuils sont situés respectivement à 16 m. 49, 10 m. 80 et à m. 44 au-dessous du niveau de la retenue, sont réunies dans un ouvrage unique, dont les dispositions sont absolument analogues à celui des prises d'eau de la Liez, sauf que les rampants d'amont, qui laissent entre eux un chenal de 1 m. 40 de largeur libre, sont beaucoup plus longs et beaucoup plus élevés qu'à la Liez et qu'ils reliés par 22 voutelettes de décharge. L'aqueduc de fuite, de 1 mètre d'ouverture et de 2 m. 14 de hauteur libre, est en plein cintre. Les crics des deux vannes de prise d'eau sont établis sur le couronnement du puits ; celui de la bonde de fond sur une voutelette de décharge située au niveau du sommet du 7^e gradin à partir du pied.

Les ouvrages de prise d'eau de la digue de la Mouche sont au nombre de deux, alimentant l'un la rivière elle-même, l'autre le bief d'un moulin situé immédiatement en aval de la digue. Ils ne diffèrent que par leur hauteur et consistent tous deux en une demi-tour accolée au parement amont du mur de réservoir ; cette demi-tour, appliquée par son plan diamétral sur le mur du réservoir, présente la forme d'un demi-prisme décagonal régulier de 5 m. 15 d'apothème évidé par un demi-cylindre de 1 m. 15 de rayon. De même qu'au réservoir de Torcy-Neuf, l'issue des eaux est doublement gardée : une première série d'orifices, échelonnés en divers points de la hauteur du parement extérieur de la demi-tour, permet aux eaux du réservoir l'accès du puits demi-cylindrique intérieur à la tour, lorsque les vannes qui les ferment sont levées ; en outre, les orifices par lesquels l'aqueduc de fuite, qui traverse la digue, pénètre dans ce puits à son pied sont, comme ceux de la première série, fermés par des vannes, en sorte que l'alimentation ne peut se faire qu'à la condition que deux vannes au moins, une de chaque série, soient ouvertes. Grâce à cette disposition, on pourrait, si un accident survenait à une vanne quelconque, soit qu'elle se brisât, soit qu'un obstacle empêchât sa fermeture, continuer régulièrement l'alimentation et ajourner la réparation jusqu'à l'époque où cette vanne deviendrait naturellement accessible. Les orifices extérieurs à la demi-tour, qu'on n'a jamais à ouvrir sous de fortes pressions puisqu'ils sont échelonnés et ne doivent être utilisés que successivement au fur et à mesure de l'abaissement du niveau de la retenue, ont 1 mètre sur 0 m. 80 ; les orifices de l'intérieur de la demi-tour, qu'on peut avoir à ouvrir ou à fermer sous la pression totale de la retenue maxima en cas d'accident à

une vanne extérieure, n'ont qu'une superficie moitié moindre de 0 m. 60 sur 0 m. 67. Aussi, ces orifices intérieurs sont-ils au nombre de deux; ils sont suivis de deux pertuis jumeaux qui, après un parcours de 5 mètres à l'intérieur du mur de réservoir, viennent déboucher dans un vaste aqueduc de fuite en plein ceintre de 1 m. 90 d'ouverture sur 1 m. 75 de hauteur sous clef.

A la prise d'eau de la Mouche, les orifices échelonnés à l'extérieur de la demi-tour sont au nombre de quatre; leurs seuils sont respectivement à 22 m. 55, 16 m. 80, 10 m. 08 et 5 m. 40 au-dessous du niveau de la retenue; le premier et le dernier sont placés dans la face antérieure de la tour demi-prismatique, parallèle au parement amont du mur de réservoir; les intermédiaires dans les deux faces adjacentes. A la prise d'eau du moulin, ces orifices ne sont qu'au nombre de trois, l'orifice inférieur étant placé dans la face avant, les deux autres dans les faces adjacentes; leurs seuils sont à des profondeurs respectives de 18 m. 90, 15 m. 45 et 6 m. 75. Dans l'un et l'autre ouvrage, les seuils des orifices intérieurs sont au même niveau que celui de l'orifice extérieur le plus bas.

Cette disposition a pour avantage d'espacer convenablement les crics de manœuvre des vannes, qui sont tous montés sur le couronnement de la tour, isolé du chemin vicinal par une barrière. Il n'y a d'exception que pour les crics des deux vannes placées dans la face antérieure de la prise d'eau de la Mouche, qui sont accolés l'un derrière l'autre et montés sur un bâti commun.

Ventellerie des prises d'eau. — La ventellerie des digues des réservoirs du canal de la Marne à la Saône est des plus simples. On n'a pas cru devoir recourir aux dispositifs, certainement fort ingénieux mais assez compliqués, adoptés à la digue de Torcy-Neuf pour réduire les frottements pendant la manœuvre des vannes. Les vannes sont de simples panneaux rectangulaires en fer forgé qui débordent de 0 m. 05, sur chacun des quatre côtés, les orifices qu'elles ferment et qui s'appliquent sur des glissières fixes par cette largeur de 0 m. 05. L'épaisseur de ces panneaux varie, suivant leurs dimensions et leur enfoncement sous l'eau, entre 20 et 45 millimètres. La manœuvre de ces vannes exige, il est vrai, un effort considérable et il est nécessaire que la tige de commande soit très solide et que le eric ait une très grande force. — Mais il est très facile de satisfaire à ces deux conditions en formant la tige de commande d'un tirant cylindrique plein en fer renfermé à l'intérieur d'un tube de même métal qui travaille à la compression comme une colonne creuse lorsqu'on abaisse la vanne et en employant des crics ayant un grand rapport d'engrenages, de manière que l'effort sur la manivelle reste très modéré. — La manœuvre sera lente, il est vrai; mais une manœuvre lente convient parfaitement dans l'espèce. — Lorsque l'alimentation est en cours et doit être réglée à un débit uniforme, il suffit de lever la vanne de 0 m. 01 à 0 m. 02 chaque

matin pour compenser la diminution de pression due à l'abaissement de la retenue. Lorsque l'alimentation commence, une ouverture trop brusque produirait un flot dangereux pour les ouvrages et pour les usines de la vallée; aussi les ordres de service prescrivent-ils aux barragistes de ne lever la vanne que de 0 m. 05 par demi-heure. Avec le cric de 10000 kilogrammes de force, adopté pour la plupart des vannes profondes, cric dans lequel le rapport des engrenages est de 999, il faut 4 tours de manivelle pour faire parcourir 0 m. 01 à la vanne. — On voit donc que, à raison de 8 tours de manivelle par minute, le réglage quotidien du débit en cours d'alimentation se fait en moins d'une minute et que l'ouverture, au début d'une alimentation, n'exige de la part du barragiste que 5 minutes de travail par demi-heure. — Un cric ayant un grand rapport d'engrenages convient donc très bien pour les prises d'eau des réservoirs et il présente l'avantage de permettre de régler la levée de la vanne avec une très grande précision.

Une précaution doit toutefois être prise dans l'attache [du cric aux maçonneries. — Lorsqu'on achève la fermeture d'une vanne, le cric exerce sur la tige un effort de compression considérable, puisque la vanne est alors soumise à la totalité de la pression de l'eau, et il a une tendance à être soulevé; son bâti doit donc être fixé aux maçonneries d'une manière très solide. On s'est imposé pour règle de solidariser avec lui un massif de maçonnerie d'un poids supérieur à l'effort de compression maximum. Cette solidarisation est obtenue au moyen de longs boulons d'ancrage verticaux, de 55 millimètres de diamètre, s'enfonçant à des profondeurs variant, suivant qu'il s'agit de vannes supportant des pressions plus ou moins considérables, entre 2 m. 78 et 4 mètre, et retenus à leurs parties inférieures par des plaques de tôle et des clavettes établies dans des trous de 0 m. 22 sur 0 m. 20, dans lesquels le bras peut facilement pénétrer, ménagés dans la maçonnerie. Ces boulons sont au nombre de 5 ou de 4 par cric : 2 à la partie antérieure, 1 ou 2 à la partie postérieure. Pour les crics des vannes extérieures des demi-tours de prise d'eau de la Mouche, les trous de clavetage des boulons d'ancrage postérieurs sont pratiqués à l'intérieur des puits de ces demi-tours.

À titre d'exemple, nous indiquerons les principales dimensions de la vanne inférieure placée à l'extérieur de la demi-tour principale de prise d'eau de la digue de la Mouche, ainsi que celles de ses organes de manœuvre et les efforts auxquels ils sont soumis. Bien qu'on ne doive jamais lever cette vanne de fond extérieure lorsque le réservoir est entièrement plein, on l'a néanmoins pourvue d'un cric permettant de la manœuvrer sous la charge entière de la retenue. La vanne, qui ferme un orifice de 1 mètre de largeur sur 0 m. 80 de hauteur, est un panneau en fer forgé de 1 m. 40 de largeur, 0 m. 90 de hauteur et 0 m. 045 d'épaisseur; son centre se trouvant à 22 m. 15 en contre-bas du niveau de la retenue, elle supporte une pression de 21900 kilogrammes. En ne la considérant comme appuyée

que sur les bords inférieur et supérieur de l'orifice, distants de 0 m. 80, le travail du fer à la flexion est de 5 kilogr. 2 par millimètre carré.

On a admis que le frottement pourrait atteindre, tout au moins au moment du départ, la moitié de la pression que supporte la vanne, soit 10950 kilogrammes. Le poids de la vanne et de la tige étant de 1400 kilogrammes, l'effort de traction pendant la levée est évalué à $10950^{\text{kg}} + 1400^{\text{kg}} = 12550$ kilogrammes, et l'effort de compression à la fin de la fermeture à $10950^{\text{kg}} - 1400^{\text{kg}} = 9550$ kilogrammes. — La tige de commande se compose d'un tube de 114 millimètres de diamètre extérieur et de 94 millimètres intérieur renfermant un tirant cylindrique plein de 50 millimètres de diamètre; elle est étroitement guidée par des anneaux-glissières distants de 4 m. 85 les uns des autres. On n'a compté que sur le tirant intérieur pour résister à l'effort de traction et que sur le tube extérieur pour résister à l'effort de compression. Le travail à la traction du tirant est ainsi au moment du départ de 6 kilogr. 5 par millimètre carré.

Une colonne creuse en fer de 4 m. 85 de longueur ayant la section du tube extérieur peut, d'après la formule de Love, supporter avec sécurité une charge de 9991 kilogrammes, supérieure à l'effort maximum à la compression que la tige peut avoir à supporter. Le cric, de 15000 kilogrammes de force nominale, présente un rapport d'engrenages de 1415, en sorte que, en négligeant les frottements des engrenages, l'effort maximum à exercer sur la manivelle ne serait que de 8 kilogr. 7. — Le volume de maçonnerie de pierre de taille solidarisé par des ancrages est de 4 mc. 22 et pèse 10150 kilogrammes.

Les autres vannes, soumises à des pressions moindres, n'ont que des épaisseurs de 55, 50 et 20 millimètres; le diamètre extérieur du tube de leur tige descend à 105 et à 100 millimètres; ce tube est même complètement supprimé lorsque l'effort à la compression à la fin de la fermeture ne dépasse pas 2500 kilogrammes. — Le rapport des engrenages est réduit dans des crics de force moindre; il est de 999 dans les crics de 10000 kilogrammes de force nominale, de 482 dans ceux de 8000 kilogrammes et de 282 dans ceux de 4000 kilogrammes. — Tous les organes des crics sont en acier cimenté et trempé. — La ventellerie des trois digues a été étudiée dans ses détails et exécutée de la manière la plus irréprochable dans les usines de Grafenstaden de la Société alsacienne de constructions mécaniques, qui s'est fait depuis longtemps une spécialité de ce genre d'ouvrages.

Ouvrages régulateurs. — Les ouvrages régulateurs du niveau de la Liez sont placés dans le prolongement de la digue à son extrémité de rive gauche; ils comprennent un déversoir fixe avec arête en pierre de taille de 55 mètres de longueur et un vannage composé de 5 vannes en tôle de 1 m. 25 de largeur libre et 1 m. 25 de hauteur en contre-bas du niveau de la retenue.

Ceux du réservoir de Wassy sont situés à 52 m. 50 de l'enracinement de la digue sur la rive gauche, en un point où le terrain naturel se trouve sensiblement au niveau de la retenue ; ils forment ainsi une dépression dans la digue, dont le couronnement est interrompu ; ils comprennent un déversoir fixe de 8 m. 65 de longueur et une vanne de 1 mètre de largeur libre et de 1 mètre de hauteur. La communication entre les deux parties du couronnement est assurée par une passerelle métallique de 10 mètres de longueur et de 2 m. 25 de largeur.

Les ouvrages régulateurs de la retenue du réservoir de la Mouche comprennent un déversoir de 50 mètres de longueur et un vannage formé de 5 vannes de 1 m. 25 de largeur libre et 1 m. 25 de hauteur. Ils sont placés sur le coteau de rive droite en amont de l'extrémité de la digue. Le vannage a une direction perpendiculaire à celle de la digue contre le parement amont de laquelle il s'appuie ; le déversoir lui fait suite et présente la forme d'un quart de cercle. Les eaux recueillies par ces ouvrages traversent la digue sous une voûte de 8 mètres d'ouverture coïncidant avec la première arche de droite du demi-viaduc.

Les ouvrages de décharge peuvent écouler par seconde les volumes suivants, sous l'influence d'une surélévation accidentelle de 0 m. 20 du niveau normal de la retenue, surélévation qui ne produit aucun dommage aux propriétés riveraines du réservoir, puisque tous les terrains situés à moins de 0 m. 20 au-dessus de la retenue ont été acquis : à la Liez, 25 m. c. 145, — à Wassy, 5 m. c. 922, — à la Mouche, 17 m. c. 462. Ces volumes sont supérieurs aux débits des plus grandes crues connues aux emplacements des digues. Bien que le bassin versant du réservoir de la Mouche soit presque double de celui du réservoir de la Liez, les crues sont, en effet, de bien moins grande importance à la Mouche, en raison de la perméabilité du bassin versant et de la plus grande régularité du régime du cours d'eau, qui en est la conséquence.

Canaux de décharge. — Les canaux de décharge conduisent dans le thalweg de la vallée les eaux écoulées par les ouvrages régulateurs. A la Liez et à Wassy, ce sont de simples chenaux maçonnés en forte pente ; cette pente est de 0 m. 1065 par mètre à la Liez. A la Mouche, en raison de la plus grande hauteur à racheter, on a recouru à un autre système : le canal de décharge, également maçonné, se compose de 15 petits biefs successifs de 10 mètres de longueur séparés par des déversoirs rachetant chacun une chute de 1 m. 26. Le radier de chaque bief présente une contre-pente de 0 m. 05 par mètre, en sorte qu'un matelas d'eau, dont l'épaisseur atteint 0 m. 46 à l'extrémité amont, protège le radier contre les affouillements de la chute d'eau et que chaque déversoir, bien que ne rachetant qu'une chute de 1 m. 26, a en réalité, son pied étant noyé de 0 m. 46, une hauteur de 1 m. 72. L'arête déversante présente la forme d'un arc de 45 degrés d'angle au centre et de 5 m. 14 de développement. La largeur

des biefs va en croissant de l'amont à l'aval ; elle n'est au fond que de 4 m. 65 à l'extrémité amont, tandis qu'elle atteint 5 mètres à l'extrémité aval. Cet évasement a pour but de réduire progressivement la vitesse d'écoulement de l'eau, que la chute sur le déversoir d'amont avait accélérée, de manière à la ramener sensiblement à sa valeur primitive au moment où, après avoir traversé le bief, l'eau atteint la crête du déversoir d'aval, — et d'éviter ainsi que cette vitesse aille continuellement en augmentant du sommet au pied du canal de décharge.

Procédés d'exécution.

Digue de la Liez. — A la digue de la Liez, le corroi est formé par un mélange de terres argileuses jaunes et de menu gravier provenant de la tranchée du bief de partage dans la proportion de $\frac{2}{5}$ de terre pour $\frac{1}{5}$ de gravier. La terre était répandue sur une épaisseur uniforme de 0 m. 155 et soigneusement émietlée sur place ; elle était ensuite recouverte d'une couche de gravier de 0 m. 067 d'épaisseur ; le mélange des deux matières était fait avec une herse rouleau d'un système spécial. Le cylindrage ramenait la couche totale de 0 m. 20 aux deux tiers environ de son épaisseur. Le rouleau ne pouvant sans danger être amené jusqu'au bord des couches, on avait soin de dépasser de 0 m. 50 la largeur indiquée par le profil ; ce surcroît de largeur de 0 m. 50 était recoupé plus tard, au moment du règlement du talus aval ou de l'exécution du revêtement maçonné sur le talus amont.

L'originalité du procédé suivi consiste dans le mode de traction de la herse-rouleau et du cylindre compresseur. L'installation était identiquement la même que celle employée dans le labourage à vapeur par le système Fowler, si répandu en Angleterre. Aux extrémités de la digue et perpendiculairement à son axe, étaient posées deux voies de 1 m. 80 de largeur, qui étaient relevées en même temps que la digue s'élevait elle-même. Sur chacune de ces voies était installé un chariot à six roues portant un treuil à axe vertical, une locomobile actionnant le treuil et un léger abri en charpente entourant ces machines et les protégeant contre les intempéries. Un long câble en acier de 15 millimètres de diamètre et d'un développement légèrement supérieur au double de la longueur de la digue, réunissait les treuils des chariots portés par les deux voies établies sur les extrémités de la digue et s'enroulait sur ces treuils. La herse-rouleau et le cylindre-compresseur étaient attelés alternativement au milieu de ce long câble. Chacune des locomobiles était mise en marche à tour de rôle ; le câble s'enroulait sur le treuil conduit par la locomobile en marche en même temps qu'il se déroulait librement de l'autre et la herse ou le cylindre était animé d'un mouvement de navette dans lequel il parcourait la digue sur toute sa longueur alternativement

dans un sens et dans l'autre. La régularité de l'enroulement du câble sur les treuils était assurée par le même artifice que dans le système Fowler : une tige, terminée par deux petites poulies entre lesquelles le câble passait avant d'atteindre le treuil, recevait un mouvement vertical d'une vis commandée par le treuil lui-même et forçait à chaque instant le câble à s'enrouler au niveau convenable. Pour faire progresser le chariot portant le treuil et la locomobile sur sa voie porteuse, il suffisait de faire actionner par la locomobile un volant spécial, dont la tige commandait, par un engrenage conique, l'essieu avant du chariot. Le mécanicien profitait, pour opérer ce mouvement de progression, de la période pendant laquelle la herse ou le cylindre s'éloignait de son chariot et où la force de sa locomobile était par suite disponible.

La herse-rouleau employée ressemble beaucoup à la charrue Fowler ; elle se compose d'un bâti supérieur en fer, porté par quatre roues, auquel est suspendu par des chaînes un bâti inférieur ayant la forme d'un angle très obtus ouvert vers le haut ; chacun des côtés de ce bâti angulaire porte, réparties en deux rangées, neuf dents ou plutôt neuf petits socs, semblables à ceux de l'instrument aratoire connu sous le nom de scarificateur ; les socs suspendus à l'un des côtés du bâti sont tournés en sens inverse de ceux suspendus à l'autre ; au centre du bâti est fixé un rouleau de 0 m. 70 de diamètre formé de 16 disques armés de dents. Le côté du bâti tourné vers l'avant est placé horizontalement et les socs qu'il porte sont seuls en prise avec la terre, l'autre côté étant relevé dans une position inclinée. Lorsque la herse est parvenue à l'extrémité de la digue, le conducteur, sans quitter le siège placé sur le centre de l'appareil, fait basculer le châssis inférieur autour du rouleau central, en reportant sur d'autres crochets les chaînes de suspension de ce châssis, et l'instrument se trouve préparé pour une nouvelle course en sens inverse. Le conducteur dirige à volonté la herse à droite ou à gauche, par un dispositif identique à celui dont sont pourvues les charrues Fowler, et il est muni d'un drapeau rouge au moyen duquel il fait aux mécaniciens des treuils les signaux convenus pour commander la mise en marche et l'arrêt.

Le cylindre corroyeur a 2 mètres de longueur sur 1 m. 20 de largeur ; il se compose essentiellement : 1^o de deux séries de 12 disques en fonte de 0 m. 80 de diamètre montés sur deux essieux distants de 1 m. 20, de telle manière que les intervalles laissés entre deux disques consécutifs soient sensiblement égaux à la largeur des disques et que les disques de l'un des essieux se trouvent en face des intervalles de l'autre, et 2^o d'une caisse de charge pouvant recevoir un lest d'eau de 1 900 kilogrammes. Le conducteur, placé sur un siège situé sur la caisse, dispose d'un volant à main au moyen duquel il peut, par une série de transmissions, détruire le parallélisme des deux essieux et, par suite, diriger l'appareil à sa volonté. Il a également sous la main la trappe de remplissage et une tige commandant la soupape de vidange de la caisse de charge, en sorte qu'il peut, sans

quitter son siège, remplir et vider cette caisse, à la seule condition, lorsqu'il vent procéder à la première de ces opérations, de faire arrêter le cylindre à proximité d'une prise d'eau et d'un ouvrier arroseur. Le poids du cylindre est de 2 500 kilogrammes à vide et de 4 400 kilogrammes à charge complète. Le nombre moyen des passages sur la même piste était de cinq.

L'installation faite pour l'arrosage des terres était très complète. Une pompe, actionnée par une petite machine à vapeur, était établie sur le bord de la Liez en aval de la digue ; de cette pompe étaient issues deux conduites maitresses en fonte de 80 millimètres de diamètre, posées à demeure dans le terrain naturel au pied de la digue qu'elles suivaient sur toute sa longueur, l'une se dirigeant vers le coteau de droite, l'autre vers celui de gauche ; chacune de ces conduites aboutissait à un petit réservoir en maçonnerie construit à flanc de coteau à 5 mètres en contre-haut du niveau du couronnement de la digue. Des prises d'eau, espacées de 25 mètres les unes des autres, étaient ménagées sur ces conduites maitresses. L'arrosage était assuré par le branchement sur ces prises d'eau de trains de tuyaux articulés à roulettes, terminés par une lance, semblables à ceux employés par les services de voirie des grandes villes.

Digue de Wassy. — A la digue de Wassy, les terres étaient employées sans aucun mélange de gravier ; l'épaisseur des couches répandues était de 0 m. 15 ; le corroyage la réduisait à 0 m. 10 environ. L'émiettage se faisait entièrement à la main ; l'arrosage au moyen de tonneaux en fer de 1 000 litres conduits par un cheval. — Le cylindre-corroyeur à disques, analogue à celui employé par la digue de Paroy, était trainé par un attelage de quatre forts chevaux, la forme courbe de la digue étant incompatible avec la traction par câble employée à la Liez. — Le poids à vide de ce cylindre était de 1 510 kilogrammes. La surcharge consistait en saumons de fonte numérotés. Le nombre des passages sur chaque piste était de cinq : les deux premiers sans surcharge, les trois suivants avec des surcharges croissant de 500 en 500 kilogrammes ; le poids du cylindre atteignait ainsi 5 010 kilogrammes au dernier passage.

Digue de la Mouche. — La carrière de la Fontaine-au-Bassin, que l'entreprise avait reliée par une voie de 1 mètre de largeur à l'extrémité de rive droite de la digue de la Mouche, a fourni toute la pierre de taille, les moellons de toutes sortes et le sable des mortiers. Ce sable était obtenu par le concassage des éclats de pierre dans les broyeurs à marteaux, du système Loiseau, établis dans la carrière. Le mortier était fabriqué dans des broyeurs à tonneau, actionnés par une machine à vapeur, à l'extrémité de rive droite de la digue, au point d'arrivée de la voie de la carrière. Les moellons et le mortier étaient conduits à pied d'œuvre, les premiers par une voie d'un mètre posée, par l'intermédiaire de fortes cales en pierre,

sur les maçonneries de la digue dont la prise était complète, le second par une voie Decauville de 0 m. 60 de largeur posée sur un échafaudage accolé au parement amont. Sur l'une et l'autre de ces voies la traction des wagonnets était opérée par des câbles sans fin actionnés par des treuils à vapeur placés à l'extrémité de la digue.

Les maçonneries de la digue furent exécutées par levées successives de 0 m. 80 à 1 mètre d'épaisseur, le parement d'aval étant toujours maintenu légèrement en avance. Les moellons de remplissage furent enchevêtrés le plus possible, leurs joints étant dirigés dans tous les sens, ne présentant jamais de surfaces continues s'étendant à plusieurs moellons voisins, et surtout jamais de lits horizontaux. Des bornes de liaison de grandes dimensions étaient, en outre, noyées à l'intérieur du massif. — Elles étaient placées debout, à des distances de 5 à 4 mètres les unes des autres, en saillie de 0 m. 50 à 0 m. 50 sur le niveau moyen de la levée dans laquelle leurs pieds étaient encastrés. Il fut posé en moyenne une borne par mètre cube de maçonnerie.

Le mortier employé dans les maçonneries de fondation de la digue en contre-bas du terrain naturel était composé de 590 kilogrammes de chaux de la région provenant des fours de Châteauvillain ou de Heuilley par mètre cube de sable de pierre broyée; celui employé dans les maçonneries en élévation de la digue de 550 kilogrammes de chaux de Cruas ou du Theil par mètre cube du même sable. L'exécution de la maçonnerie ayant été surveillée avec un soin extrême, la consommation de mortier fut considérable. D'après le relevé des gâchées, il est entré en moyenne 0 m. c. 42 de mortier par mètre cube de maçonnerie.

Dans les parties où elle a pu être exécutée normalement, la fondation de la digue a été faite de la manière suivante. La fouille, commencée par la partie centrale où la fondation devait descendre le plus bas, était ouverte jusqu'au niveau général de fondation avec des talus à 1 de base pour 5 de hauteur du côté amont où les filtrations d'eau étaient plus abondantes et où les terres se maintenaient moins bien. Les fouilles des murs d'ancrage étaient ouvertes dans la roche dure en contre-bas du niveau général des fondations avec des parois à pic. La roche marneuse s'effritant au contact de l'air, il importait de ne la laisser qu'aussi peu de temps que possible exposée à ce contact. Dans chaque profil, la fouille était commencée par l'aval et continuée de proche en proche vers l'amont; la première levée de maçonnerie suivait de très près l'exécution de la fouille. La fondation se terminait ainsi par l'implantation du mur de garde d'amont. La fouille de ce mur de 5 mètres de largeur était ouverte sur une largeur de 5 m. 50, en sorte qu'il restait entre les parois rocheuses et les parements de la maçonnerie des vides de 0 m. 25, sur le fond desquels toutes les eaux d'infiltration coulaient pour se rendre au puisard des pompes établi au point le plus bas. Grâce à cette disposition, l'écoulement des eaux entre le point où le mur de garde était en construction et le puisard était toujours

assuré et ce mur pût être maçonné à l'abri de l'eau. Lorsqu'il fut terminé sur toute sa longueur, on remplit les vides de 0 m. 25 de largeur avec du béton de ciment.

Toutes les fois qu'une source jaillissait du fond de la fouille de fondation, on élevait sur elle une cheminée en poterie qu'on noyait dans les maçonneries, et on attendait pour boucher la cheminée, en y coulant du béton de ciment, que les maçonneries eussent atteint le niveau au-dessus duquel l'eau de la source ne pouvait s'élever.

Incidents d'exécution.

Digue de la Liez. — Nous devons distinguer dans la construction de la digue de la Liez deux périodes correspondant à deux modes d'exécution différents d'une valeur très inégale.

Le mur de garde et la base de la partie centrale de la digue, sur la hauteur de 5 m. 53, mesurée au-dessus du point le plus bas du thalweg, qui correspond aux trois gradins inférieurs du talus d'amont, furent exécutés du mois d'avril 1880, au mois d'août 1882. La herse-rouleau décrite plus haut n'était pas employée à cette époque et le mélange de la terre et du gravier n'était pas suffisamment intime. De plus, l'exécution des revêtements maçonnés du talus amont suivait de très près celle des terrassements. On s'aperçut bien vite qu'il serait dangereux de continuer le travail dans ces conditions ; les revêtements maçonnés, exécutés trop tôt, avant que les remblais n'eussent pris leur assiette définitive, se déformaient : la pente des banquettes, réglée lors de la construction à 0 m. 10 par mètre, diminuait par suite du tassement du remblai, en même temps que les sommets des gradins, notamment celui du gradin inférieur, étaient rejetés vers l'amont. Ce déplacement horizontal atteignait 0 m. 15 en un point du sommet du gradin inférieur ; le tassement des maçonneries de revêtement pour l'ensemble des trois gradins était également de 0 m. 15 au maximum. Ces légères déformations ne présentaient certes pas de caractère inquiétant, mais elles montraient qu'on ne saurait continuer sans imprudence à exécuter les revêtements sans avoir laissé au remblai le temps de s'asseoir. D'un autre côté, les sondages exécutés dans le remblai montraient que le cylindrage n'avait pas suffi à faire pénétrer le gravier jusqu'au fond de la couche de terre sur laquelle il avait été répandu et que la base des couches de terre était à peu près dépourvue de gravier ; cette insuffisance du mélange des deux matières faisait craindre tout à la fois des tassements et un défaut d'étanchéité, les couches où le gravier dominait pouvant n'avoir pas été rendues suffisamment imperméables par le reflux des terres sous-jacentes dans les vides du gravier. On suspendit alors l'exécution du remblai ; on ouvrit, suivant l'axe de la digue et sur toute la longueur de la partie centrale déjà exécutée, une fouille de 5 mètres de largeur qu'on

descendit jusqu'à 0 m. 60 en contre-bas du terrain naturel et on remplit cette fouille par une clef en terre végétale pure fortement corroyée. En même temps, on faisait construire la herse-rouleau dont nous avons donné la description. L'élévation des remblais fut reprise en mai 1885 et terminée à la fin d'avril 1884. Cette fois, grâce à l'emploi de la herse, le mélange des matières ne laissa plus rien à désirer. On ne reprit l'exécution des revêtements du parement amont qu'à l'automne de 1885 pour la terminer à la fin de 1886. Deux hivers avaient ainsi passé sur les remblais avant la construction des revêtements des six gradins supérieurs ; aussi ceux-ci n'ont-ils subi aucune déformation appréciable.

Le tassement total observé dans la partie centrale de la digue, au point où il a atteint son maximum d'intensité, a été de 0 m. 55 ; il se répartit comme il suit :

Antérieurement au mois d'avril 1884, c'est-à-dire pendant la période d'élévation des remblais.	0 m. 18
D'avril 1884 à septembre 1885.. . . .	0 m. 25
De septembre 1885 à juin 1886.	0 m. 12
Total égal.	0 m. 55

Depuis juin 1886, on a encore observé de loin en loin le fendillement de quelques joints du parapet ; mais les tassements qui l'ont provoqué sont si faibles qu'ils échappent à tout mesurage.

La digue de la Liéz, grâce aux soins apportés à sa construction, à l'heureuse composition du corroi, à l'intensité du cylindrage, à l'intervalle de deux années ménagé entre l'exécution des remblais et celle des revêtements maçonnés des six gradins supérieurs, est d'une imperméabilité absolue et on n'y a observé, en somme, que des déformations insignifiantes et bien vite arrêtées des trois gradins inférieurs ; c'est certainement l'une des meilleures digues en terre existant en France.

Digue de Wassy — La digue de Wassy a été construite avec une rapidité vertigineuse. Commencée en juin 1881, elle était terminée et les eaux étaient retenues sur une hauteur de 15 mètres le 1^{er} août 1882.

En mai 1882, pendant l'exécution du 5^e gradin, un mouvement se produisit dans les maçonneries du revêtement du gradin inférieur. On substitua alors, au revêtement de ce gradin et au remblai qui le supportait, une maçonnerie pleine de section trapézoïdale contre-butée sur le mur de garde et régnaant sous toute la largeur du gradin et sous celle de la banquette qui le couronne ; cette maçonnerie fut exécutée sur une longueur de 253 mètres.

Le 29 août 1882, au cours de la première vidange, alors que l'eau ne s'élevait plus qu'à 5 m. 50 au-dessus du seuil de la bonde de fond, un glissement considérable du talus amont se produisit sur une longueur de

66 m. 50 à partir et à gauche de l'ouvrage des prises d'eau. Le 6 septembre, quand la vidange fut complète, on constata que, sur cette longueur, les revêtements du deuxième gradin avaient été renversés, que les terres qui les supportaient avaient passé par-dessus le gradin inférieur en maçonnerie pleine, qui avait seul résisté, et que le talus d'amont avait pris une inclinaison générale plus faible, son pied s'étant avancé de 2 à 5 mètres et sa crête s'étant affaissée de 1 m. 50 à 2 mètres, en entraînant avec elle une partie du couronnement de la digue de 1 m. 50 de largeur moyenne. Les maçonneries de revêtement des gradins moyens et supérieurs, entraînées par le glissement, étaient, en général, descendues tout d'une pièce. La surface de glissement partait, au sommet de la digue, d'une ligne située à 1 m. 50 en arrière de l'arête d'amont du couronnement, descendait suivant une inclinaison voisine de 1 de base pour 1 de hauteur, sur une profondeur de 12 mètres, niveau auquel elle se trouvait à 5 mètres en arrière du talus, puis rejoignait le sommet du gradin inférieur par une inclinaison de 4 de base pour 1 de hauteur.

Après avoir isolé, par une tranchée creusée suivant la ligne de plus grande pente, la partie du talus en mouvement de celle demeurée intacte, afin d'éviter la propagation du glissement vers l'extrémité de la digue, on construisit sept contreforts intérieurs en maçonnerie de 1 m. 50 de largeur, espacés de 10 à 12 mètres d'axe en axe, et on refit à nouveau le corroi et le revêtement sur toute la partie qui avait glissé.

Les contreforts sont fondés par gradins sur le remblai corroyé intérieur demeuré en place à une profondeur moyenne de 1 mètre au-dessous de la surface de glissement ; ils ne pénètrent d'ailleurs dans la digue que jusqu'à l'aplomb du pied du cinquième gradin. à l'exception d'un seul, celui placé dans l'axe même du glissement, qui a été élevé jusqu'au niveau du plan d'eau et qui, pour cette raison, a reçu un profil spécial représenté sur la figure 7 de la planche I. — Par mesure préventive, six contreforts ont été également lancés dans le talus amont à droite de l'ouvrage des prises d'eau, où des fissures se produisaient, et on a ainsi évité le glissement de cette partie du talus. Ces travaux de consolidation, qui ont coûté 50 000 francs, eurent un succès complet et fixèrent définitivement le talus amont de la digue. Ils ont d'ailleurs été copiés sur ceux exécutés, dans des circonstances analogues, aux digues de Cercey et de Panthier, où les contreforts n'avaient également été fondés que sur le corroi au-dessous du plan de glissement et où ils avaient été tout aussi efficaces.

L'accident survenu au mois d'août 1882 au talus amont de la digue de Wassy ne paraît pas pouvoir être imputé à une insuffisance de la quantité de matières sableuses contenue dans les terres. Il résulte, en effet, d'analyses physiques faites au laboratoire de l'École des Mines, que la composition moyenne de ces terres est celle indiquée par le tableau suivant :

INDICATION DES ÉLÉMENTS PHYSIQUES constituant LA TERRE DE LA DIGUE DE WASSY.	PROPORTION POUR 100 EN POIDS.	
	En tenant compte de l'humidité et des matières organiques.	Abstraction faite de l'humidité et des matières organiques.
Sable	41,1	45,9
Argile	24,2	27,1
Peroxyde de fer.	15,5	17,4
Carbonate de chaux	8,6	9,6
Eau et matières organiques.	10,6	»
Totaux.	100,0	100,0

La proportion de sable et d'argile paraît très convenable. Peut-être les grains des matières sableuses des terres étaient-ils trop fins; mais, étant donnés les soins minutieux apportés à l'exécution, on ne saurait voir là qu'une cause bien secondaire. La cause principale, et, selon M. le sous-ingénieur Mongin qui a exécuté les travaux, la cause unique, consiste dans la trop grande rapidité d'exécution et dans la simultanéité de l'élévation des remblais et des revêtements maçonnés. — Aussi, cet ingénieur conseille-t-il désormais d'élever les remblais lentement et surtout de laisser passer deux hivers avant de recouper le parement amont et de le revêtir de maçonnerie.

Digue de la Mouche. — La fondation de la digue de la Mouche, commencée par la partie centrale, était parvenue à une distance de 60 mètres de l'enracinement dans le coteau de rive droite lorsqu'un glissement considérable des terres de ce coteau se produisit et vint recouvrir l'extrémité des maçonneries. Le plan de glissement était très bas, à une faible hauteur au-dessus de la marne rocheuse. On dut donc terminer la fondation dans un terrain en mouvement et la difficulté était considérable, puisqu'on était obligé de descendre la fouille à une très grande profondeur, à une profondeur atteignant 21 mètres à l'extrémité. Après avoir ouvert la fouille par les moyens ordinaires sur la plus grande hauteur où il était possible de le faire sans danger, on battit, à travers ce qui restait encore du terrain en mouvement, trois lignes de pieux dont on fit pénétrer les pieds dans la marne compacte : les lignes extrêmes étaient placées à 50 centimètres en dehors du parement des maçonneries à construire, la ligne médiane au milieu de l'intervalle des deux autres. Les têtes de tous ces pieux furent solidement moisées dans le sens longitudinal et dans le sens transversal, puis on enfonça des palplanches dans les intervalles des pieux des deux lignes extrêmes et on déblaya l'intérieur de l'enceinte ainsi formée en entretoisant les pieux dans tous les sens, au fur et à mesure de

l'avancement du déblai, par de forts étrésillons, de 40 centimètres de diamètre, qui divisèrent la fouille en deux rangées de compartiments d'environ 5 à 8 mètres de largeur. La maçonnerie fut commencée par la partie adossée au massif central déjà fondé et continuée de proche en proche jusqu'à l'extrémité, les étrésillons et les pieux de la ligne centrale étant enlevés au fur et à mesure de son avancement. Le travail terminé, les pieux et les palplanches des lignes extrêmes furent arrachés avec des vérins et les trous qu'ils laissaient furent bouchés avec un coulis de mortier.

Lors de l'exécution de la fouille de l'enracinement de la digue dans le coteau de rive gauche, des fissures se produisirent dans ce coteau et quelques maisons du village de Saint-Ciergues, situées à moins de 50 mètres de la fouille, eurent leurs murs légèrement lézardés. Il fallait à tout prix éviter un nouveau glissement qui, cette fois, eût entraîné une partie du village. — On construisit avec une extrême rapidité, dans le talus d'about de la fouille, qui présentait la forme d'un arc de cercle, des contreforts de 1 mètre d'épaisseur espacés de 2 mètres les uns des autres et fondés à 1 m. 50 au-dessous du plan de glissement; ces contreforts étaient exécutés en maçonnerie à mortier de chaux avec addition de ciment afin de hâter la prise. Dès qu'ils furent terminés, on remplit de maçonnerie les espaces primitivement laissés entre les contreforts et on obtint ainsi en quelques jours un secteur complet de soutènement. Puis on se hâta de fonder, dans une fouille blindée descendue rapidement jusqu'au rocher, la partie extrême de la digue qui vint épauler le secteur de soutènement. Tout danger était ainsi conjuré.

L'habileté avec laquelle furent surmontées les difficultés de fondation de l'enracinement sur le coteau de rive droite au milieu d'une masse de terres en mouvement, la sûreté et la rapidité de conception et d'exécution du soutènement du coteau de rive gauche font le plus grand honneur à M. Carlier, à M. le sous-ingénieur Mongin et à M. le conducteur Florentin, qui exécutèrent ces travaux en régie directe.

Incidents postérieurs à l'exécution.

Digue de la Mouche. — Pendant l'hiver 1890-91, alors que la température variait entre 10 et 20 degrés centigrades au-dessous de zéro et que la retenue était maintenue à 5 m. 25 au-dessous de son niveau normal, sept fissures verticales se produisirent dans la digue de la Mouche; elles étaient situées dans l'axe des arches centrales de chacun des groupes de cinq arches du demi-viaduc séparés par une pile-culée, le groupe contigu à la rive droite étant seul excepté; elles présentaient leur maximum d'ouverture au sommet de la digue et disparaissaient complètement à 11 m. 25 au-dessous du niveau normal de la retenue, soit à 8 mètres au-dessous du niveau auquel le plan d'eau se trouvait pendant cet hiver. Au sommet

de la digue, la largeur des fissures était comprise entre $\frac{1}{4}$ et 2 millimètres et la somme des largeurs des sept fissures était de 7 millim. $\frac{1}{4}$. Ces fissures se refermèrent graduellement lorsque la température se releva; quatre d'entre elles avaient complètement disparu à la fin de février 1891; les trois autres, bien que singulièrement rétrécies, sont demeurées visibles.

L'observation périodique des repères d'alignement, placés au quart, au milieu et aux trois quarts de la longueur, a permis de remarquer également que la digue se déforme légèrement. — D'une manière générale, le mouvement se fait de l'amont vers l'aval et le déplacement observé dans ce sens a atteint au maximum 25 millimètres; mais il est digne de remarque que, au mois de juillet 1891, au moment des fortes chaleurs, le repère placé au milieu de la digue se trouvait reporté en amont de sa position initiale, tandis que ceux placés au quart et aux trois quarts étaient reportés en aval. La digue présentait donc, à cette époque, la forme d'une courbe à deux points d'inflexion, forme qu'elle paraît d'ailleurs conserver, les déplacements vers l'aval des repères du quart et des trois quarts étant demeurés supérieurs à celui du repère du milieu.

L'ouverture et la fermeture des fissures, aussi bien que la déformation de l'alignement primitif de la digue, montrent que, dans une digue rectiligne, les contractions de la maçonnerie dues à l'abaissement de la température se traduisent par des fissures verticales et que les dilatations dues à l'élévation de la température donnent à la digue une forme légèrement courbe. Cette courbe pourrait sans doute quelquefois tourner sa convexité du même côté sur la totalité de sa longueur; mais il paraît probable que, dans les digues de grande longueur, elle présentera généralement, comme à la Mouche, un certain nombre de points d'inflexion. Toutes les circonstances observées prouvent d'ailleurs que les variations de la température sont bien la cause des fissures : les époques de leur ouverture et de leur fermeture, le fait qu'elles s'ouvrent davantage à la partie supérieure où les variations de température sont plus sensibles, celui qu'elles disparaissent au pied de la digue et que, à égalité de niveau, elles sont moins ouvertes sur le parement amont baigné par l'eau que sur le parement aval, tout concourt à montrer que l'ouverture est maxima aux points qui subissent directement l'action de la chaleur et du froid, minima là où cette action est atténuée par l'eau ou par les terres, dont la température varie peu.

Nous pensons qu'il suffirait, pour éviter la production de fissures dans les digues en maçonnerie, de substituer à la forme rectiligne celle d'une courbe tournant sa convexité vers l'amont. Le défaut des digues rectilignes, au point de vue des effets de la dilatation, est, en effet, de ne comporter qu'un développement unique; il en résulte que tout retrait entraîne nécessairement une déchirure, tout allongement une déformation de l'alignement qui n'est astreinte à aucune loi et qui, par suite, se produit presque toujours d'une manière irrégulière, en sorte que, quand vient ensuite la période du retrait, les points qui se sont le plus écartés, surtout ceux qui

ont été repoussés vers l'aval, ne peuvent plus être ramenés à leur position initiale, la pression de l'eau s'y opposant, et que des fissures se produisent.

Les choses doivent se passer bien différemment dans une digue curviligne. — Si l'on considère, en effet, une section d'une pareille digue par un plan horizontal quelconque, il suffit que tous les points se rapprochent légèrement du centre de courbure pour que le développement diminue et qu'ils s'en éloignent pour que le développement augmente. Si la courbe est un arc de cercle, un même rapprochement ou un même éloignement du centre produit un retrait ou un allongement également réparti sur toute la longueur, c'est-à-dire exactement réparti suivant la loi linéaire de la contraction ou de la dilatation due à la température. Les variations de température étant plus grandes au sommet de la digue, exposé directement à l'action de la chaleur et du froid, qu'à son pied, en contact avec les couches d'eau inférieures d'une température à peu près constante, les allongements et les retraits, également répartis sur toute la longueur d'une même section horizontale, varieront d'une section à l'autre et avec eux varieront les éloignements et les rapprochements du centre de courbure ; ils seront maxima au sommet, à peu près nuls au pied. Les variations de température se traduiront donc par une variation légère du fruit des parements dans la région supérieure de la digue ; le fruit du parement amont diminuera en été, augmentera en hiver.

En résumé tandis que, dans une digue rectiligne, les retraits et les allongements élémentaires provoqués par les variations de la température se cumulent, s'ajoutent les uns aux autres sur des longueurs importantes pour produire des fissures ou des déformations sensibles aux points de moindre résistance, espacés par exemple de 50 en 50 mètres comme à la Mouche, ils seront astreints, dans une digue curviligne, à se répartir uniformément sur toute la longueur dans chaque section horizontale ; ils demeureront ainsi partout infiniment petits et il ne pourra plus se produire ni fissure ni déformation permanente. De plus, dans une digue curviligne, l'effet de la dilatation sera nécessairement de reporter légèrement vers l'amont tous les points des sections horizontales faites dans la région supérieure de la digue, puisque le déplacement dans ce sens est le seul qui permette un allongement de la longueur de la section, et le retour de ces points en arrière sera assuré par la pression de l'eau de la retenue, dès que le retrait dû au refroidissement le permettra. — tandis que, dans une digue rectiligne, l'allongement peut se produire tout aussi bien par un déplacement vers l'aval que par un déplacement vers l'amont, et, dans le premier cas, la pression de l'eau rend bien difficile, au moment du refroidissement, le retour à leur position primitive des parties qui avaient été refoulées vers l'aval.

Nous pensons donc que, en donnant aux digues en maçonnerie la forme d'un arc de cercle tournant sa convexité vers l'amont, on assurerait le libre jeu de la dilatation et de la contraction, qui ne se manifesteraient

plus que par une légère variation du fruit des parements dans la région supérieure de la digue, et qu'on éviterait ainsi toute fissure et toute déformation permanente.

Nous ne croyons pas d'ailleurs qu'aucune objection sérieuse puisse être formulée à d'autres points de vue contre la forme curviligne. Au point de vue de la résistance, cette forme ne peut présenter que des avantages : une portion de digue de 40 ou 60 mètres de longueur qui aurait une tendance à être reportée vers l'aval, cela s'est déjà vu, ne pourrait qu'être mieux soutenue par les parties contiguës inébranlables avec la forme curviligne qu'avec la forme rectiligne. Quant aux objections qui pourraient être basées sur l'augmentation de la longueur et du prix de la digue et sur la diminution de la capacité du réservoir, elles sont sans valeur aucune. Si on avait, en effet, construit la digue de la Mouche suivant un arc de circonférence de 25 mètres de flèche, sa longueur n'eût été augmentée que de 4 m. 05, soit de $\frac{1}{101}$, et la capacité du réservoir

n'eût été diminuée que de 112 000 mètres cubes, soit de $\frac{1}{77}$.

La digue de la Mouche est un très bel ouvrage. La solution, imaginée par M. Carlier, pour permettre le passage du chemin vicinal sur le couronnement, est aussi heureuse au point de vue théorique qu'au point de vue pratique. Le profil a été déterminé par les méthodes de calcul les plus récentes, qui sont en même temps les plus prudentes. La fondation a été, au prix d'efforts considérables et malgré toutes les difficultés rencontrées, encastrée partout dans le rocher solide. L'effet décoratif obtenu par le demi-viaduc accolé au parement aval est extrêmement satisfaisant. Cette digue serait, à notre avis, à peu près parfaite si, au lieu d'avoir reçu en plan une forme rectiligne, elle avait reçu une forme curviligne, qui, nous en avons la conviction, eût évité la production des légères fissures observées pendant l'hiver 1890-1891.

Prix de revient.

Réservoir de la Mouche. — Le tableau suivant donne le relevé des dépenses de construction, des principales quantités et des prix de revient par unité relatifs au réservoir de la Mouche, les prix comprenant implicitement tous les frais de blindage des fouilles, d'épuisement et de surveillance, ainsi que les dépenses en régie de toutes sortes, qui ont été réparties entre les différents articles :

INDICATION DES OUVRAGES.		PRINCIPALES QUANTITÉS.	DÉPENSES.	PRIX DE REVIENT MOYEN par unité col. 4 = col. 3 : col. 2.
1		2	3	4
		m. c.	fr. c.	fr. c.
Digue.	Terrassements des fondations	246 995	785 685 »	5 17
	Maçonneries du corps de la digue (y compris les demi- tours de prise d'eau) . .	102 981	2 714 001 »	26 53
	Parapet	279	19 055 »	68 50
	Chape, chaussée, trottoirs, garde-corps	»	103 622 »	»
	Ouvrages régulateurs et de décharge.	2 096	64 500 »	50 63
	Ventellerie	»	51 810 »	»
	Prix total de la digue . . .	»	5 715 471 »	
	Maison de garde, magasin et annexes.	»	19 550 »	»
	Déviations des chemins	»	107 647 »	»
Acquisition des terrains.	hectares acquis . . .	101 hect. 96 a.	1 178 659 »	11 560 »
	hectares noyés par la retenue.	97 46		12 094 »
Capacité, prix total du réservoir et prix de revient par mètre cube d'eau emmagasinée		8 648 000 mc.	5 019 287 »	0 580

Réservoirs de la Liez et de Wassy. — Le tableau suivant donne les mêmes renseignements pour les réservoirs de la Liez et de Wassy. Il fait, en outre, ressortir le prix moyen des terrassements par mètre cube de corroi, les prix moyens du mur de garde et du parapet par mètre courant, le quotient de la dépense relative aux revêtements maçonnés du talus d'amont par la superficie de leur projection sur un plan vertical parallèle à l'axe de la digue, autrement dit la dépense des revêtements par mètre carré de la surface verticale en élévation comprise entre le terrain naturel et le pied du parapet, enfin le quotient de la dépense relative aux prises d'eau, aux bondes de fond, aux ouvrages régulateurs, au canal de décharge et à la ventellerie par la hauteur comprise entre le point le plus bas de la prairie au fond de la vallée et le niveau normal de la retenue.

Méthode rapide pour évaluer approximativement le prix d'un réservoir avec digue en terre. — Lorsque, en 1890, nous avons été chargé d'étudier un nouveau programme de l'alimentation par les réservoirs du canal de la Marne à la Saône, nous avons eu à faire un choix entre les divers emplacements, situés tous aux environs de Langres et dans les vallées du lias, où l'établissement de nouveaux réservoirs était possible. Il importait d'employer une méthode très rapide d'évaluation approxi-

INDICATION DES OUVRAGES.	PRINCIPALES QUANTITÉS.		DÉPENSES.		PRIX DE REVIENT MOYEN PAR UNITÉ.			
	LIEZ.	WASSY.	LIEZ.	WASSY.	LIEZ.		WASSY.	
					Col. 6 =	col. 4 col. 2	Col. 6 =	col. 5 col. 3
I	2	3	4	5	6		7	
	me.	me.	fr. c.	fr. c.	fr. c.		fr. c.	
Dignes.	Corroi	174 200	82 500	700 575 »	269 955 »	4 02	5 27	
	Revêtements maçonnés	5 579	5 068	255 756 »	110 177 »	43 45	55 91	
	Mur de garde	2 044	1 211	70 074 »	57 492 »	54 28	50 96	
	Parapet	461	»	25 988 »	»	56 57	»	
	Prises d'eau et ouvrages de décharge	4 660	5 056	197 617 »	95 785 »	42 41	50 69	
	Ventellerie	»	»	5 252 »	4 846 »	»	»	
	Prix total des digues	»	»	1 255 042 »	516 251 »	»	»	
Maison de garde, magasin et annexes.	»	»	25 057 »	5 828 »	»	»	»	
Déviations des chemins	»	»	28 000 »	12 211 »	»	»	»	
Acquisition { hectares acquis	305 hectares.	52 hect. 22 a.	1 708 000 »	160 420 »	5 600 »	»	5 072 »	
des terrains. { hectares noyés par la retenue	278 —	45 hectares.			6 144 »	»	5 565 »	
Capacité, prix total du réservoir et prix de revient par mètre eube d'eau emmagasiné	16 100 000 me.	2 146 000 me.	2 992 079 »	694 710 »	0 186		0 524	
Corroi (par mètre eube)	174 200 me.	82 500 me.	700 575 »	269 955 »	4 02		5 27	
Mur de garde (par mètre courant)	459 m. 50	566 m. 15	70 074 »	57 492 »	132 57		102 40	
Parapet (par mètre courant)	459 m. 50	»	25 988 »	»	56 58		»	
Revêtements { (par mètre carré de maçonnés surface verticale en élévation)	5 845 mq.	5 529 mq.	255 756 »	110 177 »	59 99		51 22	
Prises d'eau, { (par mètre de hau- ouvrages de dé- teur entre le thal- charge weg et le niveau et ventellerie. de la retenue)	14 m. 45	15 m. 90	202 869 »	98 629 »	14 059 »		6 205 »	

mative du prix d'un réservoir, afin de comparer entre elles les diverses solutions possibles. Tous les réservoirs entre lesquels nous avions à choisir comportaient d'ailleurs des digues en terre corroyée. Nous avons procédé de la manière suivante.

En ce qui concerne la digue, nous avons admis que la dépense du corroi était proportionnelle au cube de ce corroi, celle des revêtements maçonnés du talus amont à la surface verticale en élévation comprise entre le terrain naturel et le pied du parapet, surface qui n'est autre que la projection de ces revêtements, dont l'inclinaison générale est constante, sur un plan vertical parallèle à l'axe de la digue, que les dépenses relatives au parapet et au mur de garde étaient proportionnelles à la longueur de ces ouvrages et, par extension, à la longueur de la digue mesurée au niveau de la retenue, qui n'en diffère que très peu; enfin que la dépense relative aux prises d'eau, aux ouvrages et canaux de décharge, ventellerie comprise, était proportionnelle à la hauteur du niveau de la retenue au-dessus du thalweg de la vallée. Les premières de ces hypothèses se justifient par leur simple énoncé; les dernières ne sont qu'approximatives: le prix du mur de garde dépend, non seulement de sa longueur, mais encore de sa pro-

foudeur et de l'importance des épuisements; celui des ouvrages de décharge est fonction, en même temps que de la hauteur de la retenue, du débit des grandes crues du ruisseau intercepté. — Mais nous avons négligé ces dernières influences pour les raisons suivantes : toutes les digues que nous avions à comparer devaient être établies dans les vallées du lias sur des terrains très analogues à ceux qui servent d'assiette à la digue de la Liez; la profondeur moyenne du mur de garde et l'importance des épuisements devaient donc être sensiblement les mêmes qu'à cet ouvrage; d'un autre côté, le prix des ouvrages de prise d'eau et celui du canal de décharge sont indépendants du débit des crues du cours d'eau et ne sont fonction que de la hauteur de la retenue; seuls, le vannage et le déversoir régulateurs sont affectés par ce débit; mais, comme ces derniers ouvrages sont de beaucoup les moins importants, une erreur commise dans leur évaluation n'a qu'une très faible influence. Nous avons donc considéré les hypothèses ci-dessus comme très suffisamment approchées dans une étude comparative, qui ne comportait pas d'ailleurs une grande précision, et nous avons obtenu le prix approximatif des diverses digues en appliquant respectivement au cube du corroi, à la surface verticale en élévation comprise entre le terrain naturel et le pied du parapet, à la longueur de la digue au plan d'eau et à la hauteur de la retenue au-dessus du thalweg, les prix unitaires de 4 francs, de 40 francs, de 210 francs et de 14 100 francs. Le premier produit nous donnait le coût du corroi, le second celui des revêtements maçonnés, le troisième celui du mur de garde et du parapet, le quatrième enfin celui des ouvrages de prise d'eau et de décharge. Les prix unitaires dont nous nous sommes servi sont, on le voit, ceux résultant du décompte des travaux de construction de la digue de la Liez; nous avons complètement écarté ceux, notablement plus faibles, obtenus à la digue de Wassy; 1° parce que les digues que nous avions à comparer se trouvaient toutes, comme celle de la Liez, dans les environs de Langres, tandis que la digue de Wassy est située dans une tout autre région, où la nature du sous-sol, les prix des matériaux et de la main-d'œuvre sont très différents; — 2° parce que le prix de 5 fr. 27 par mètre cube de corroi de la digue de Wassy est un prix inexact, en raison de ce qu'il ne comprend pas le prix de la fouille et du transport de la plus grande partie des terres, de toutes celles provenant des déblais de la cuvette du canal, ce prix ayant été payé sur les travaux des biefs correspondants; — 3° parce que la digue de Wassy est dépourvue de parapet et que le mur de garde très économique qui y a été exécuté est loin de présenter des garanties égales à celles qu'offre le mur de garde de la Liez, tant parce que sa largeur à la base est très faible que parce qu'il n'est pas doublé d'un corroi; — 4° enfin parce que la situation exceptionnelle du réservoir de Wassy, établi dans le vallon des Leschères, dont le bassin versant est insignifiant, et alimenté artificiellement par des eaux ne provenant pas de ce vallon, avait permis de faire sur les ouvrages de décharge des économies fort impor-

tantes, qu'on ne pouvait espérer réaliser dans les circonstances ordinaires.

En ce qui concerne l'acquisition des terrains, il convient d'observer que la détermination de la superficie à acquérir est longue et laborieuse, le tracé de la ligne d'emprise étant soumis à des conditions multiples et variables d'un point à l'autre du périmètre, dont il est à peu près impossible de tenir compte lorsqu'on ne possède pas un plan coté très exact du terrain. Nous avons substitué à cette superficie celle des terrains noyés par la retenue, beaucoup plus aisée à déterminer sur une carte pourvue de courbes de niveau et qu'on ne saurait d'ailleurs se dispenser d'évaluer, puisqu'elle est un des éléments du calcul de la capacité du réservoir. Mais il fallait alors majorer le prix moyen de l'hectare, qu'une reconnaissance générale permettait de déterminer approximativement, afin de tenir compte du fait que ce prix moyen était appliqué à une superficie inférieure à la superficie réelle de toute l'étendue des francs bords. Nous avons déterminé cette majoration par un moyen empirique. Nous avons remarqué que, pour les trois réservoirs construits dans la Haute-Marne, les écarts entre les quotients de la dépense relative à l'acquisition des terrains par la superficie noyée par la retenue d'une part et par celle réellement acquise d'autre part différaient fort peu de 500 francs; ces écarts, ainsi que le montrent les tableaux précédents, sont, en effet, de 554 francs au réservoir de la Mouche, de 544 francs à celui de la Liez et de 495 francs à celui de Wassy; l'écart moyen est de 524 francs. La très grande concordance entre ces écarts, qui s'accuse nonobstant des différences considérables entre les capacités et les prix moyens par hectare des trois réservoirs, nous a décidé, bien que nous ne nous rendissions pas bien compte des causes qui la produisaient, à adopter la majoration de 500 francs par hectare.

Telle est la méthode qui nous a permis de faire en deux à trois mois l'estimation approximative d'un grand nombre de réservoirs avec digue en terre. Nous avons eu devoir l'exposer parce que nous pensons qu'elle est susceptible d'être utilisée dans les avant-projets d'alimentation de canaux. Les prix unitaires varieront sans doute suivant les circonstances et les prix locaux; ils devront même, dans une même région, différer assez souvent d'un réservoir à l'autre lorsque ces réservoirs ne seront pas, comme ils l'étaient ici, situés tous dans des vallées de même nature; aussi n'est-ce point tant sur les prix unitaires, qu'il faudra déterminer à nouveau dans chaque cas particulier, que nous attirons l'attention que sur la méthode suivie. Cette méthode est extrêmement simple et rapide, puisqu'elle ramène le problème à la détermination de cinq quantités : la superficie du réservoir au niveau de la retenue qu'on calculera sur une carte, pourvue de courbes de niveaux, à aussi grande échelle que possible; la largeur de la digue au niveau de la retenue; la surface en élévation comprise entre le terrain naturel et le pied du parapet et la hauteur de la retenue au-dessus du fond de la vallée, trois éléments que le lever d'un seul profil suivant l'axe de la digue projetée fournira immédiatement;

enfin le cube du corroi dont le calcul se fera bien vite à l'aide de ce même profil suivant l'axe de la digue et du profil transversal type qu'on aura adopté.

Conclusions.

Les conclusions suivantes nous paraissent pouvoir être déduites de l'étude que nous venons de faire des digues des trois réservoirs du département de la Haute-Marne.

A. — En ce qui concerne les digues en terre :

1° La solution adoptée aux Water-Works d'Édimbourg et à Torey-Neuf, consistant à établir les prises d'eau dans une tour isolée, placée en dehors et en amont de la digue, et à encasterner le plus possible dans le terrain naturel l'aqueduc de fuite issu du pied de cette tour et passant sous la digue, facilite singulièrement l'exécution d'un corroi homogène et doit être recommandée.

2° Il est prudent de ne pas élever avec trop de rapidité les digues en terre corroyée, et surtout de ne pas exécuter les revêtements maçonnés du talus amont en même temps que le corroi. Un délai de deux hivers, ménagé entre l'élévation des remblais et celle des revêtements sur les parties correspondantes, paraît devoir être conseillé.

3° Le système de traction funiculaire adopté à la Liez y a donné de bons résultats, et il semble qu'il serait d'autant plus avantageux d'y recourir à l'avenir en France pour les digues en terre rectilignes que le matériel a été conservé et pourrait être réemployé.

4° La méthode rapide indiquée ci-dessus pour l'évaluation approximative du prix d'un réservoir avec digue en terre paraît susceptible de rendre des services dans l'étude d'un avant-projet d'alimentation d'une voie navigable, lorsque les estimations n'auront pas besoin d'être faites avec une grande précision.

B. — En ce qui concerne les digues en maçonnerie :

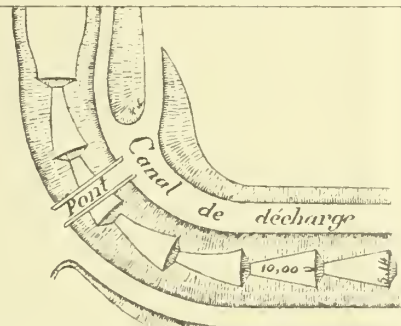
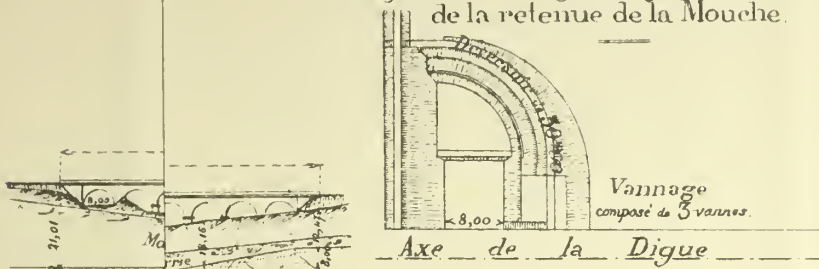
5° La forme d'une courbe tournant sa convexité vers l'amont paraît devoir être recommandée pour les digues en maçonnerie, en raison surtout des effets, sur la région supérieure des digues, de la dilatation et de la contraction dues aux variations de la température.

6° La solution adoptée au réservoir de la Mouche pour permettre le passage d'un chemin vicinal sur le couronnement d'une digue en maçonnerie paraît très heureuse, tant au point de vue technique qu'à celui de l'effet décoratif obtenu.

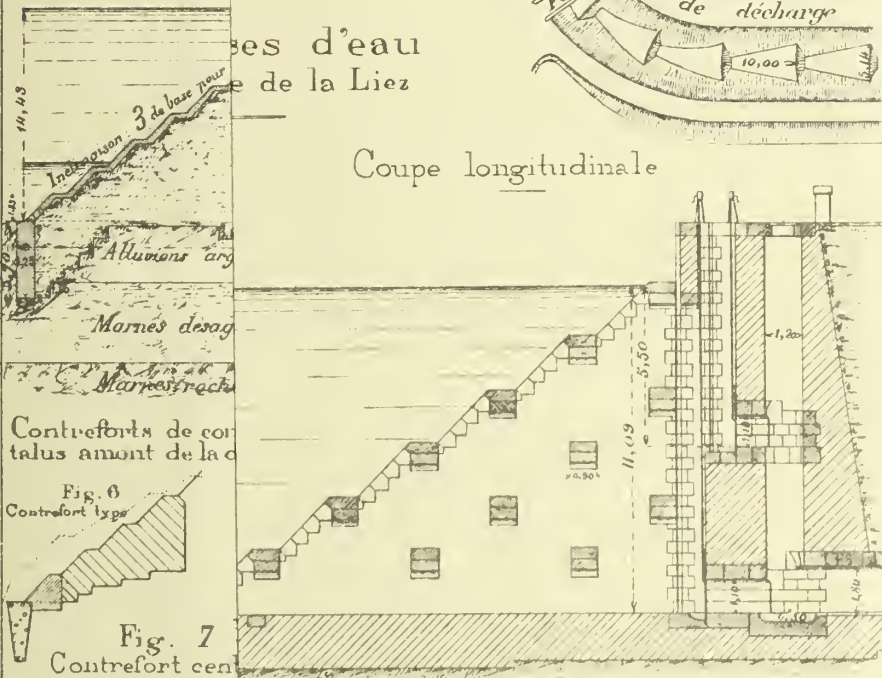
7° L'aménagement des prises d'eau dans une tour demi-polygonale accolée au parement amont d'une digue en maçonnerie et présentant un évidement demi-cylindrique, disposition qui permet d'établir deux séries distinctes de vannes, la première à l'extérieur, la seconde à l'intérieur de la tour, ainsi que cela a été réalisé d'abord à la digue de Bouzey et ensuite à celle de la Mouche, paraît également très recommandable.

Langres, le 22 février 1892.

Fig. 2 - Ouvrages régulateurs de la retenue de la Mouche.



Coupe longitudinale



Plan

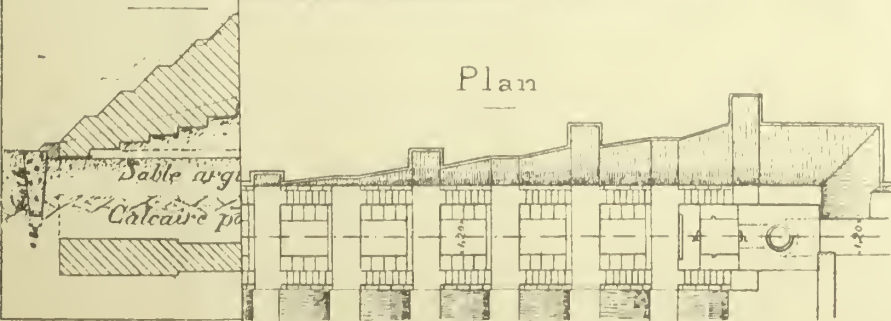


Fig. 1 - Elévation de la digue de la Mouche

Vue d'aval

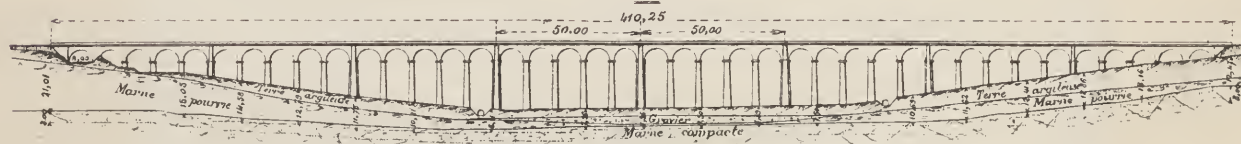


Fig. 2 - Ouvrages régulateurs de la retenue de la Mouche

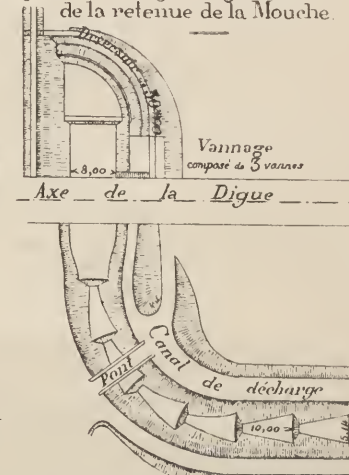


Fig. 3 - Profil de la digue de la Liez

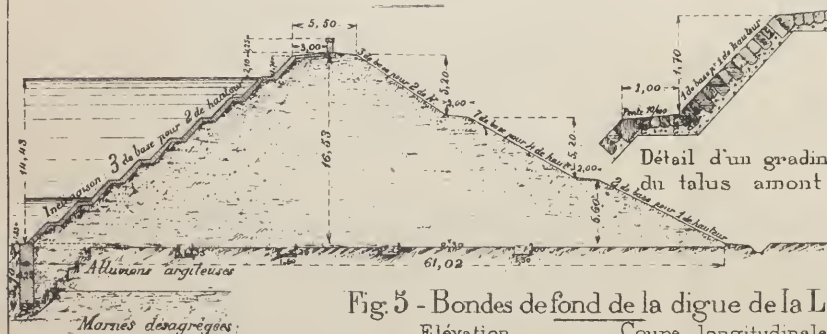


Fig. 4 - Prises d'eau de la digue de la Liez

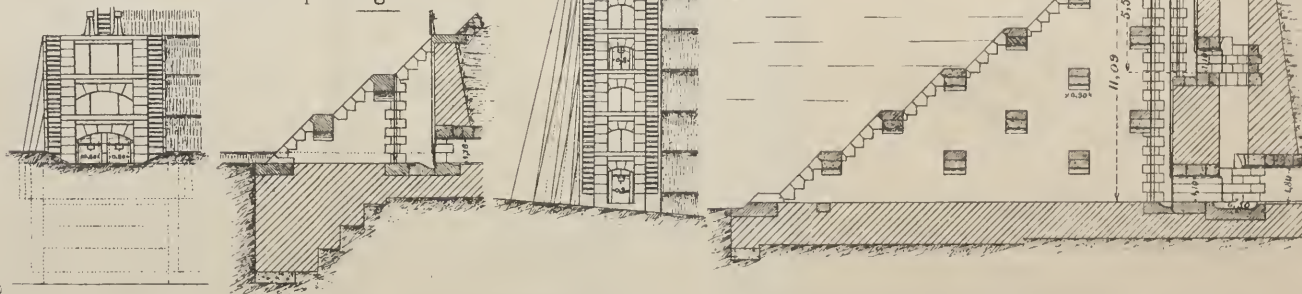
Elévation d'amont

Coupe longitudinale

Fig. 5 - Bondes de fond de la digue de la Liez

Elévation

Coupe longitudinale



Contreforts de consolidation du talus amont de la digue de Wassy

Fig. 6 Contrefort type

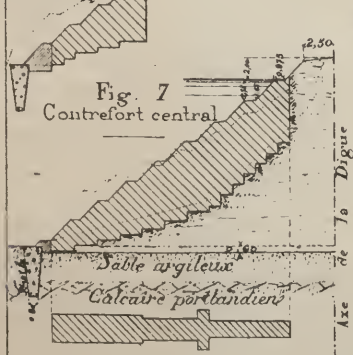


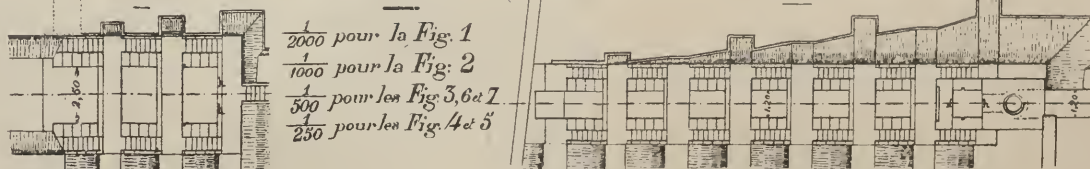
Fig. 7 Contrefort central

Plan

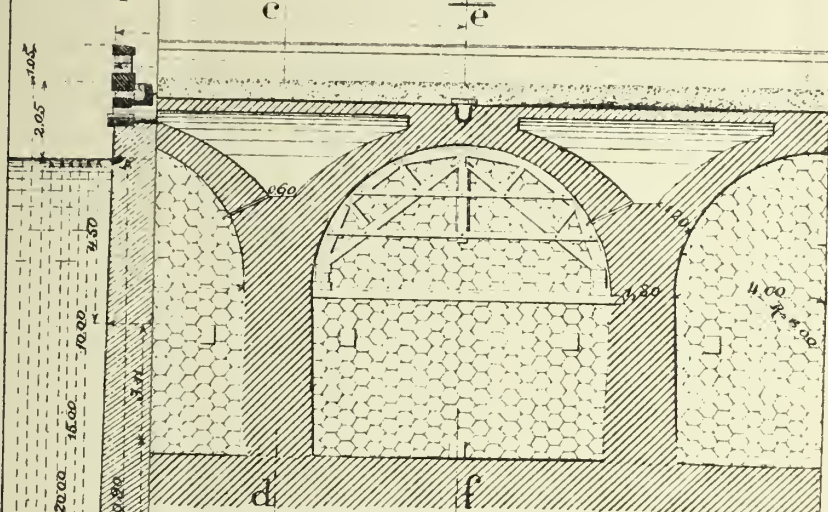
Echelles :

$\frac{1}{2000}$ pour la Fig. 1
 $\frac{1}{1000}$ pour la Fig. 2
 $\frac{1}{500}$ pour les Fig. 3, 6 et 7
 $\frac{1}{250}$ pour les Fig. 4 et 5

Plan



Coupe
Coupe longitudinale
suivant a b.



Echelles: $\frac{1}{200}$ pour les Fig. 1 et 2.
 $\frac{1}{50}$ pour la Fig. 3.
 $\frac{1}{500}$ pour la Fig. 4.

Fig. 3.
Coupe transversale suivant e d.

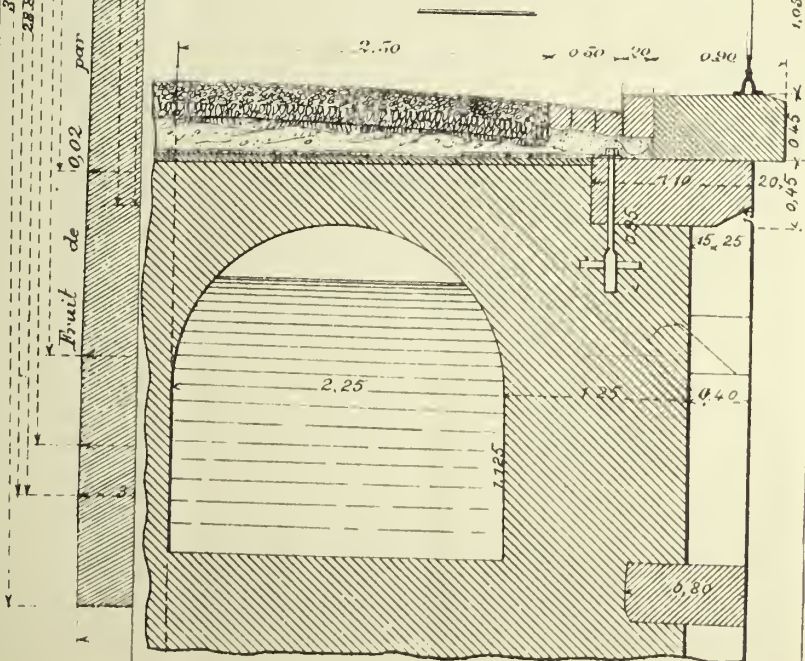
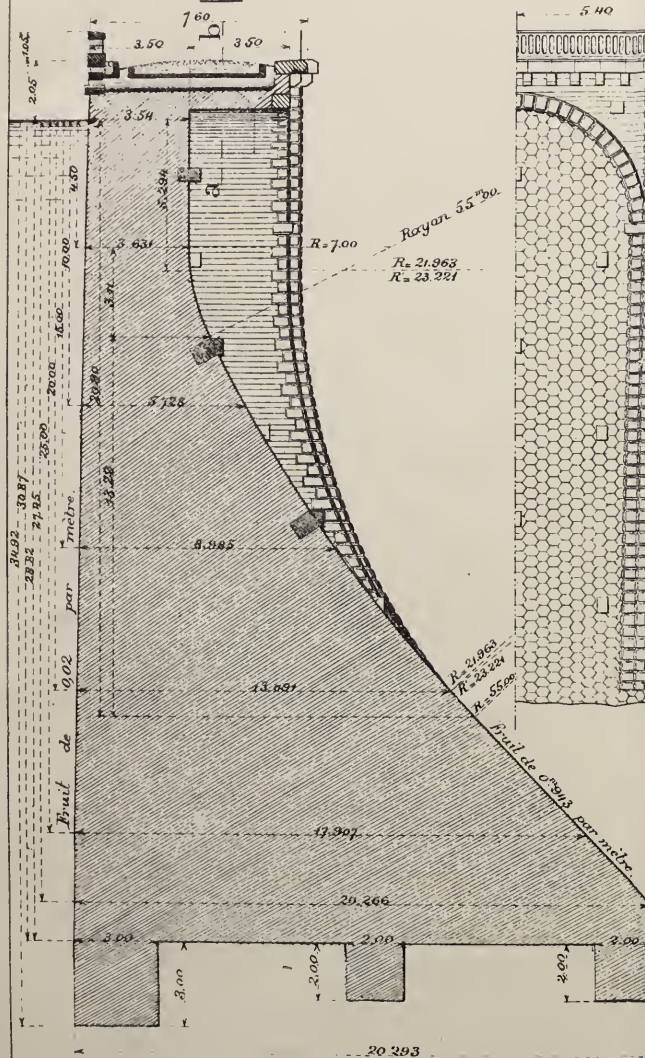


Fig. 1.
Profil de la digue.
Coupe transversale suivant ef.



Élévation de la digue.
Vue d'aval.

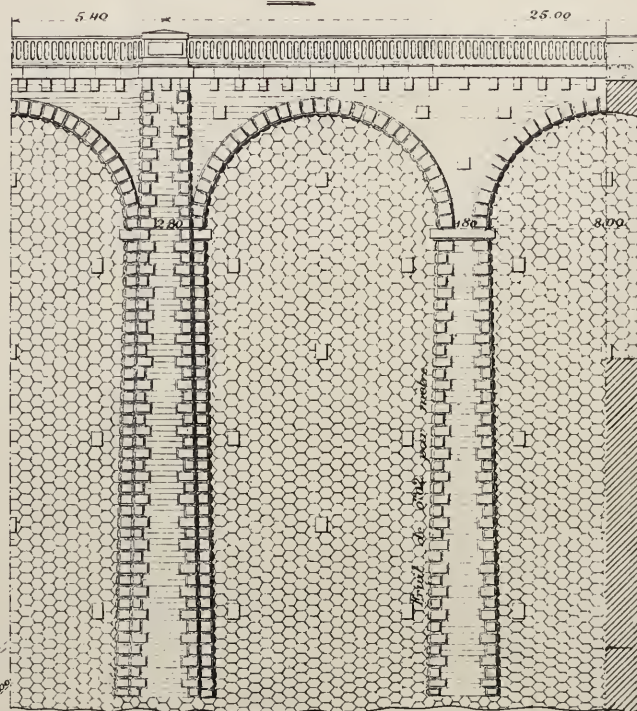


Fig. 2. Coupe longitudinale suivant ab.

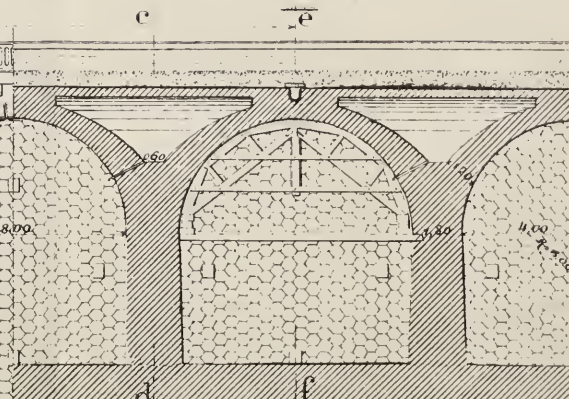
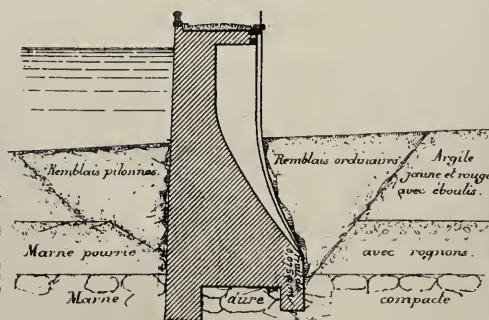


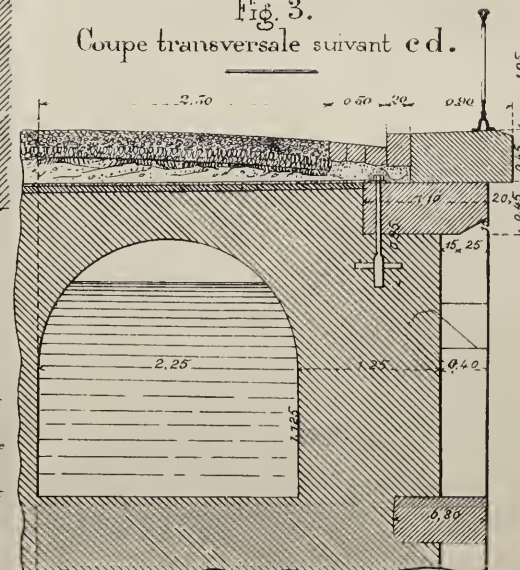
Fig. 4. Profil d'un enracinement.



Echelles: $\begin{cases} \frac{1}{200} \text{ pour les Fig. 1 et 2.} \\ \frac{1}{50} \text{ pour la Fig. 3.} \\ \frac{1}{500} \text{ pour la Fig. 4.} \end{cases}$

Fig. 3.

Coupe transversale suivant c

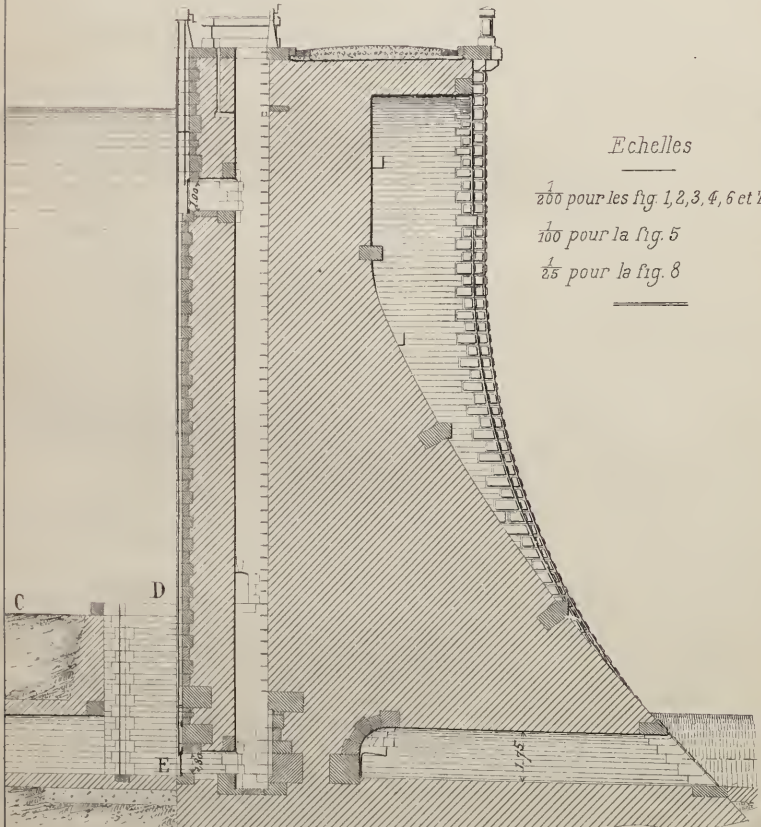


LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA

Demi-tour de prises d'eau de la Mouche.

Fig 1.

Coupe verticale suivant AB.



Echelles

$\frac{1}{200}$ pour les fig. 1, 2, 3, 4, 6 et 7
 $\frac{1}{100}$ pour la fig. 5
 $\frac{1}{25}$ pour la fig. 8

Fig 2. Coupe horizontale suivant CDEF

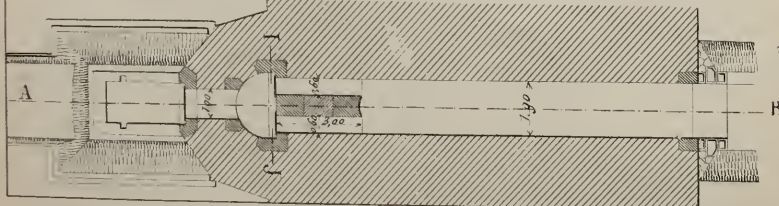


Fig 3. Elévation.

Vue d'amont

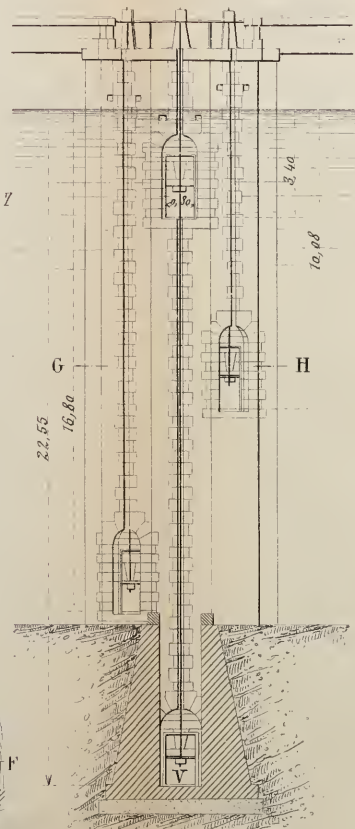


Fig 4

Coupe horizontale suivant GH

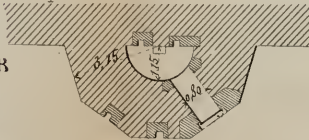


Fig 5. Plan

Vue par dessus

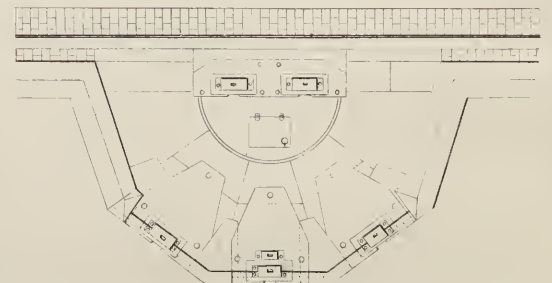


Fig 8. Détails de la vanne V

Elévation

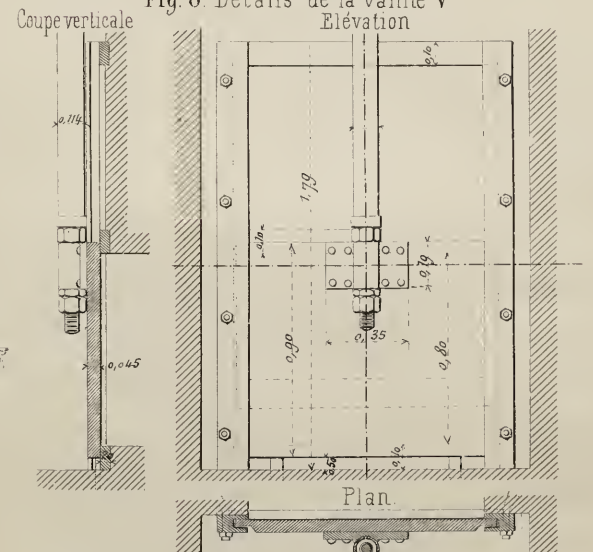


Fig 6. Coupe verticale
suivant IJ.

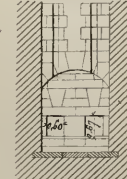
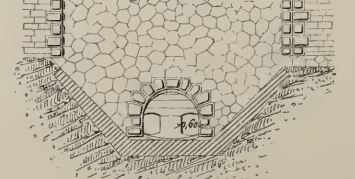


Fig 7. Elévation de la tête aval
de l'aqueduc de fuite.



V^{ème} CONGRÈS INTERNATIONAL DE NAVIGATION INTÉRIEURE
PARIS 1892

4^{me} QUESTION

LES
RÉSERVOIRS D'ALIMENTATION
CANAL DU CENTRE ET CANAL DE BOURGOGNE

R A P P O R T

PAR

M. FONTAINE

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Dijon

PARIS

IMPRIMERIE GÉNÉRALE LAHURE

9, RUE DE FLEURUS, 9

1892

LES RÉSERVOIRS D'ALIMENTATION

CANAL DU CENTRE ET CANAL DE BOURGOGNE

RAPPORT

PAR

M. FONTAINE

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Dijon.

1^o CANAL DU CENTRE

Le canal du Centre possède, pour son alimentation dans la saison sèche, douze réservoirs, d'une contenance totale d'environ 21 850 000 mètres cubes. Neuf, donnant au point de partage, datent de la construction du canal, ou à peu près (1788 à 1836); parmi eux, deux seulement sont de quelque importance, Torcy (2 380 000 mètres cubes) et Berthaud (1 980 000 mètres cubes). Deux autres sont de construction moins ancienne, Montaubry (1859-1861, 5 050 000 mètres cubes) et Le Plessis (1868-1870, 1 520 000 mètres cubes), tous deux réservoirs de versants. Le douzième enfin, Torcy-Neuf (1883-1887, 8 760 000 mètres cubes) dernier réservoir du point de partage et le plus considérable de tous, est fort récent.

Sur une grande partie du parcours du canal du Centre on trouve facilement des terres à corroi, sablo-argileuses, d'excellente qualité (grès ou crans décomposés, environ 64 de sable pour 36 d'argile). Aussi tous les réservoirs y ont-ils été établis avec digues en terres battues. C'est le mode le plus économique quand on dispose de bonnes terres.

Dans toutes les digues dont la hauteur atteint plus de 7 mètres, le talus du côté des eaux a été revêtu d'une maçonnerie disposée suivant une série de gradins. Ceux-ci sont formés de murs ou de perrés indépendants successifs inclinés à 45° ou environ, séparés les uns des autres par des berms presque horizontales. Ce système de revêtement est dû à M. l'ingénieur en chef Vallée. Il a pour but d'établir, sur un corroi rendu, par sa composition et par son mode d'exécution, aussi dur, aussi impénétrable qu'il peut l'être, un revêtement dont les parties soient assez solides pour résister

aux actions extérieures et intérieures, assez isolées pour que les dégradations, s'il en survient malgré toutes les précautions prises, ne puissent se propager, assez accessibles pour que les réparations puissent être exécutées partout avec facilité.

Les principales dispositions de tous ces réservoirs se résument surtout dans celles du dernier construit, celui de Torey-Neuf. On a cherché à y apporter tous les perfectionnements compatibles avec l'économie désirable. On ne citera guère ici que ce réservoir, le plus important de beaucoup, en signalant les points sur lesquels il diffère des précédents d'une manière capitale.

Le réservoir de Torey-Neuf, terminé en 1887, est situé, fort près du Creuzot, dans le grès rouge, au-dessus du terrain houiller. Il présente une superficie de 166 hectares, un périmètre de 15 kilomètres, une hauteur maximum de retenue, à l'altitude de 521 mètres, de 14 m. 50. Sa contenance est de 8 767 000 mètres cubes (voir ci-contre, page 5, la coupe de la digue).

Digue-barrage. — La digue-barrage, rectiligne, bien enracinée dans le coteau à ses deux extrémités, n'est qu'un grand remblai en terre argilo-sableuse fortement comprimée ou corroyée. Sa longueur au niveau du couronnement est de 156 m. 70. Sa largeur est de 5 m. 50 au sommet, de 52 m. 90 à la base, au droit du thalweg. Sa hauteur maximum est de 16 m. 50. Le volume total du massif est d'environ 129 000 mètres.

Le talus du côté des eaux est revêtu d'une maçonnerie de 50 centimètres d'épaisseur, en moellons épincés posés sur béton, formant une série de dix perrés successifs, de 1 m. 50 chacun de hauteur, inclinés à 45° de grés, et séparés par des bermes de 90 centimètres de largeur. La hauteur rachetée par l'inclinaison de chacune de ces bermes est seulement de 10 centimètres. Deux d'entre elles, divisant la hauteur totale de la digue en trois parties égales, ont été poussées à 2 mètres de largeur.

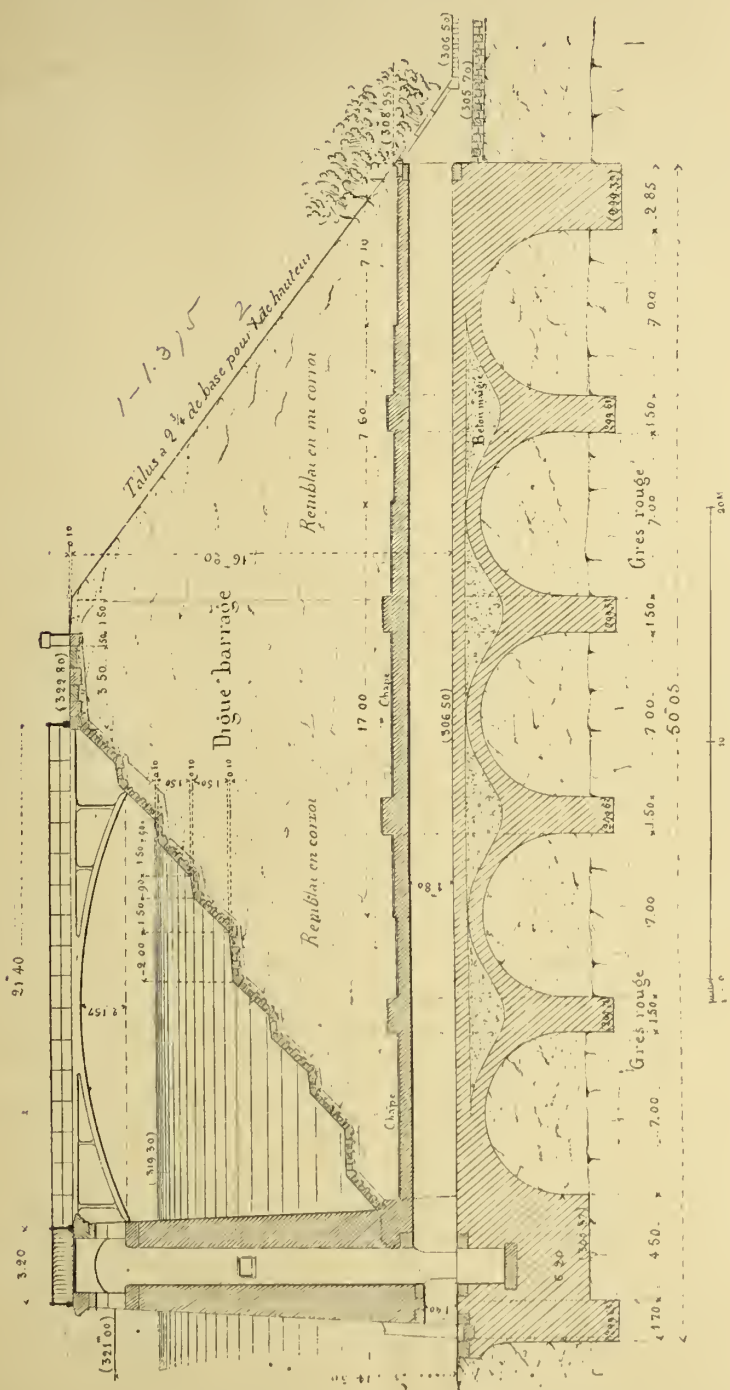
Le talus extérieur est seulement planté d'acacias jusqu'à 5 mètres de hauteur environ. Son inclinaison est de 2 5/4 de base pour 2 de hauteur.

La plate-forme supérieure de la digue de 5 m. 50 de largeur, dépasse de 1 m. 80 le niveau de la retenue. Elle est maçonnée, sur 4 mètres de largeur, comme tout le talus d'amont, et est surmontée d'un parapet de 1 m. 20 de hauteur, pour arrêter les vagues.

Le pied du talus d'amont repose sur un mur de garde vertical, de 1 m. 50 d'épaisseur, encastré de 1 mètre dans le rocher de fondation (grès rouge), et régnant sur toute la longueur de la digue. La hauteur maximum de ce mur atteint 7 mètres.

Toute la partie de la digue située au-dessous du revêtement et de la plate-forme maçonnés repose directement sur le rocher vif, mis à nu dans une grande fouille de fondation. Pour fortifier l'étanchéité à la base, il a encore été établi, dans cette partie d'amont, comme chicanes aux filtrations

pénétrant de 1 mètre dans le rocher, trois clefs de corrois parallèles à l'axe.



Les terres de ce massif d'amont ont été énergiquement corroyées par

couches successives de 10 centimètres d'épaisseur, réduites après l'opération à 7 cm. 5. On les arrosait au lait de chaux si elles étaient trop sèches, on les saupoudrait de chaux blutée (environ 50 kilogrammes par mètre cube), si elles étaient trop humides. La forme des perrés et des bermes était recoupée, en déblai, dans la masse des corrois. Le battage n'était fait à la main que contre le mur de garde, dans les clefs de fondations et contre l'aqueduc des bondes. On a surtout employé au corroyage des rouleaux cannelés en fonte de 70 centimètres de diamètre pesant 700 kilogrammes, ou 1 200 kilogrammes remplis de sable, trainés par des chevaux; et plus encore un rouleau à vapeur construit spécialement à cet effet, qui a donné les meilleurs résultats. Il était monté sur de larges roues cannelées en tôle, deux à l'avant de 85 centimètres de diamètre et 50 centimètres de largeur, deux à l'arrière de 1 m. 50 de diamètre et 69 centimètres de largeur, portait une chaudière tubulaire horizontale de 6 mètres carrés de chauffe, pesait 5 000 kilogrammes à charge, et pouvait tourner dans un rayon de quelques mètres.

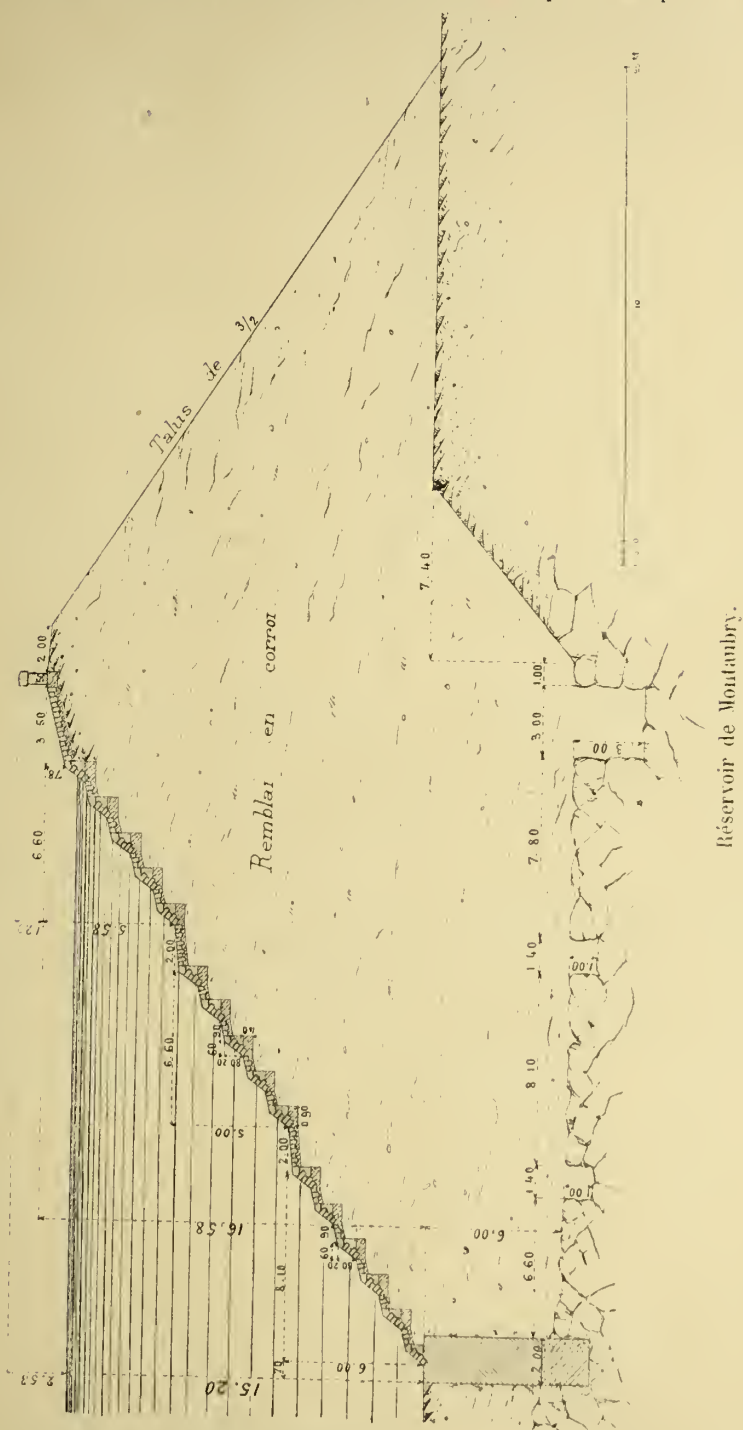
Un rouleau à cheval corroyait 80 mètres cubes de terre par jour, mesurés après tassement. Le rouleau à vapeur en corroyait 500 mètres. Le prix de revient moyen du battage, y compris régalage et addition de chaux, a été, par mètre cube, de 25 centimes seulement.

La partie de la digue située à l'aval, sous le talus extérieur, a été faite des mêmes terres sablo-argileuses, extraites des mêmes terrains voisins, et battues en même temps que celles de la partie d'amont, mais battues seulement en mi-corroi, c'est-à-dire par couches de 20 centimètres d'épaisseur, réduites à 16 centimètres après battage. Elles reposent en outre simplement sur le sol naturel, préalablement essarté.

A Montaubry, où la hauteur de retenue est de 15 m. 20, le revêtement a été formé de seize petits murs successifs, de 80 centimètres de hauteur, inclinés de 60 centimètres, d'une épaisseur moyenne de 60 centimètres aussi, et séparés par des bermes présentant une pente transversale de 20 centimètres. Le mur de garde vertical, sur lequel repose le premier gradin, a 2 mètres d'épaisseur; chacun des autres murs indépendants est fondé sur un massif de béton de 40 centimètres d'épaisseur et de 90 centimètres de largeur. Les dispositions adoptées à Torey-Neuf paraissent aussi satisfaisantes, plus simples et moins chères. Celles du Plessis s'en rapprochent déjà sensiblement (voir pages 5 et 8 les profils de ces barrages).

A Montaubry, les bermes avaient été revêtues d'abord d'un enduit en bitume de 15 millimètres sur béton de 18 cm. 5. Cet enduit s'est rapidement détérioré sous les actions successives de l'eau, de l'air et du soleil; on a dû le remplacer par une maçonnerie de moellons, sur 15 centimètres de béton. Au Plessis, les bermes ont été recouvertes d'un enduit de 2 centimètres en ciment Portland, posé sur béton de 20 centimètres, et découpé, tous les 2 mètres, par des dalles. Il est aussi un peu fissuré et écaillé. Le revêtement uniforme de 50 centimètres d'épaisseur, en moellons épin-

cés, adopté à Torcy-Neuf pour les bermes comme pour les perrés, paraît



au contraire d'une extrême résistance.

Au Plessis comme à Montaubry, le corroyage a été fait soit avec des battes à main, soit surtout avec des rouleaux trainés par deux chevaux. Le mètre cube de corroi est revenu environ à 1 franc à la batte, à 0 fr. 40 au rouleau; celui du mi-corroi à 0 fr. 60 et 0 fr. 28. Le prix moyen du battage, y compris régalage, arrosage, etc., a été de 0 fr. 80 par mètre cube.

Déversoir. — Il sera exposé plus loin qu'on eût pu, au réservoir de Torey-Neuf, se passer de déversoir de décharge. Il en a été construit un cependant, de 12 mètres de longueur.

Son seuil, établi au-dessous d'une passerelle faite de deux petits arcs métalliques qui rétablit la continuité du passage sur la digue, est arasé à 70 centimètres en contre-bas du niveau de la retenue. La hauteur de celle-ci est regagnée par des hausses mobiles, en bois, de petite longueur, maintenues dans des montants métalliques en fer à U adossés. Cette disposition si simple donne toutes les garanties contre les plus fortes tombées d'eau. En cas de crue, les hausses formées de quatre madriers horizontaux superposés s'enlèvent à la main, en totalité ou en partie. Avec une lame déversante de 0 m. 50, on peut écouler en 24 heures 660 000 mètres cubes, soit près de 4 fois le volume total que donnerait un orage exceptionnel.

La rigole de fuite du déversoir est de section très réduite, mais ouverte suivant une pente qui atteint 182 millimètres par mètre. La cuvette est curviligne et parementée en moellons.

Aux anciens réservoirs, de même qu'à Montaubry et au Plessis, le déversoir fixe était arasé au niveau même de la retenue.

Bondes de prise d'eau. — Dans les anciens réservoirs du canal du Centre, les bondes de prise d'eau au nombre de deux, à Torey, de trois à Berthaud, sont des aqueducs en maçonnerie séparés, traversant chacun la digue à des niveaux différents, la bonde inférieure au fond même du réservoir, celle supérieure dans l'axe du massif du déversoir. Sauf cette dernière, elles débouchent dans des puits verticaux, d'où partent les aqueducs de fuite et où sont placées les vannes. Il en résulte beaucoup de maçonneries, fort coûteuses, et rompant en divers points l'homogénéité de la digue en terre.

A Montaubry, on a concentré les trois bondes dans un massif de maçonnerie unique, formant un puits général de 1 m. 60 d'ouverture. Les trois aqueducs de 1 mètre de largeur, voûtés en plein cintre, superposés et distants verticalement de 5 mètres, tombent dans un grand puits vertical, de 1 m. 10 de diamètre, d'où part, au bas, l'aqueduc de fuite.

Chacune des bondes est commandée par un eric qui était primitivement placé sur la grande berme la plus voisine. Les erics des vannes inférieures restaient ainsi noyés à l'ordinaire; leurs boîtes seules pouvaient être enlevées et rapportées ensuite au moment du besoin. Mais, surtout, on ne

pouvait tirer par une des deux vannes inférieures que quand la grande berme supérieure correspondante était découverte, quand, par suite, la charge d'eau était déjà bien réduite. C'était là un inconvénient fort sérieux. Il en résultait tant de lenteur pour les remplissages du canal, après les chômages faits alors annuellement, qu'on s'est décidé à y remédier en partie, en 1879, en construisant, au-dessus des deux vannes inférieures, deux tours pleines en maçonnerie, sur les plates-formes desquelles ont été reportés les crics. On a obtenu de la sorte le moyen de lever simultanément la première et la seconde, ou la seconde et la troisième vanne. — Au réservoir de Berthaud, qui se vide du reste fort rarement, on ne peut encore accéder au cric de la vanne de fond que lorsque la hauteur des eaux est inférieure à 5 mètres.

Au Plessis, les bondes, au nombre de deux seulement, sont superposées dans un seul massif de maçonneries, comme à Montaubry; mais les deux crics sont placés sur la berme supérieure, et permettent d'ouvrir les deux vannes en même temps.

Dans tous ces ouvrages, des rainures, pratiquées dans les bajoyers des pertuis, peuvent recevoir des poutrelles en amont des vannes, pour permettre les réparations. Mais, en réalité, celles-ci, dans des couloirs étroits, profonds et obscurs, ne sont rien moins que faciles.

A Torey-Neuf, l'ouvrage de prise d'eau, d'un système nouveau, est une tour élevée dans le réservoir même, au pied de la digue.

Elle sert aussi à la décharge des eaux surabondantes, et elle pouvait permettre d'économiser le déversoir et sa rigole spéciale. On a maintenu cependant ces ouvrages. On n'était pas encore fixé sur les effets que produiraient de grands déversements dans la tour, et on a craint que les maçonneries n'en fussent fortement ébranlées et disloquées. Ces appréhensions ne se sont pas justifiées. L'expérience de ces déversements se fait depuis plusieurs années sans inconvénients, en les combinant avec le jeu d'une vanne intérieure fermant l'aqueduc de fuite.

La tour de prise d'eau et de décharge, carrée à l'extérieur, présente, à l'intérieur, un puits vertical, de 1 m. 50 de diamètre, où débouchent les bondes et tombent les déversements. Ce puits s'ouvre, en bas, dans l'aqueduc de fuite. Le couronnement est à la même hauteur que celui de la digue (16 m. 50 au-dessus du radier de la bonde de fond). On y trouve une plate-forme carrée, de 5 m. 50 de côté, sur laquelle sont établis les appareils de manœuvre des vannes. Les faces de la tour sont en fruit de un vingtième.

Le puits se termine par une chambre cylindrique, de même diamètre et de 2 mètres de profondeur en contre-bas du radier de l'aqueduc de fuite. On a ainsi constamment un matelas d'eau, pour amortir l'effet destructeur du choc des masses liquides.

Les prises d'eau, au nombre de trois, étagées verticalement, à 4 m. 80 l'une au-dessus de l'autre, et fermées par des vannes cylindriques parti-

suppression ou de la réduction du déversoir spécial et de sa rigole de fuite; 5° et plus encore, de la faculté de battre les corrois en grand, avec des chevaux ou à la vapeur, et de la diminution notable des battages à la main.

Les vannes sont très difficilement abordables dans les massifs ordinaires des bondes, où l'on ne peut notamment accéder au scaphandre. Elles peuvent bien rarement y être réparées. Avec la tour, quand on a bouché l'ouverture de la prise d'eau par un tampon en bois, placé dans une chambre ménagée à cet effet dans les parois du puits, le scaphandrier vient sans peine et sans danger, démonter et enlever les vannes et leurs tiges, puis les replacer après qu'elles ont été réparées à l'atelier. On a déjà eu l'occasion de faire un travail semblable, avec succès, à la vanne de fond.

On peut aussi parcourir et réparer le long aqueduc de fuite sous la digue. La vanne de garde levée, on n'y est plus, comme avec les anciennes dispositions, entièrement fermé à l'amont; on reçoit l'air et le jour par le puits.

Vannes. — Les vannes des anciens réservoirs, même celles de Montaubry, étaient en bois, ainsi que leurs châssis. C'étaient d'épais et lourds plateaux de chêne, de 60 centimètres environ de longueur sur 40 centimètres de hauteur, surmontés d'une tige terminée par une forte vis, sur laquelle on agissait au moyen d'une énorme clef. La tige elle-même était une véritable pièce de charpente. La manœuvre était assez incommode. Les bois aussi finissaient par pourrir, et donnaient lieu parfois à des pertes d'eau considérables. On a été amené, au canal du Centre, à remplacer de 1875 à 1880, la plus grande partie de ces appareils un peu grossiers par des vannes en fonte, sur châssis en fonte, avec manœuvre par des crics.

Mais toutes les vannes rectangulaires à coulisses donnent, pour de grandes charges d'eau, un travail de frottements très considérable. Il faut recourir à des crics puissants et coûteux; leurs frottements propres augmentent encore notablement l'effort à produire; et il faut les fixer, par de lourdes armatures, à de très forts cubes de maçonneries, pour que celles-ci ne soient pas disloquées.

On a cherché, à Torcy-Neuf, à obtenir une manœuvre de vannes facile, avec des appareils de levage simples. On y est arrivé par un système nouveau aussi, fort élégant, dû à M. l'ingénieur Eugène Résal, et qui donne de très bons résultats.

La vanne en fonte n'est pas plane, mais de surface cylindrique convexe, Attachée à un arbre horizontal concentrique en fer, elle tourne devant un siège en fonte, à surface cylindrique, concave, concentrique aussi. Elle tourne à une très petite distance de ce siège, mais sans appuyer contre lui. Elle comprend un cadre mobile, en fonte, qu'elle entraîne dans ses mouve-

ments d'ouverture et de fermeture, mais qui n'est pas relié à l'arbre; c'est ce cadre qui, pressé par l'eau sur ses bords, s'appuie et frotte seul contre le siège. Le joint du cadre et de la vanne est d'ailleurs obturé par un boudin en caoutchouc, sans que cette obturation modifie d'une manière appréciable l'indépendance du cadre. Ce boudin, logé dans une rainure, y est protégé contre les chocs.

La pression exercée par l'eau sur toute la vanne pleine ne produit qu'un frottement de roulement, par suite assez minime, sur les tourillons de l'arbre horizontal fixe. Il n'est produit de frottement de glissement que par la pression exercée sur le cadre mobile seul, ou plutôt sur une étroite bande périmétrique de ce cadre, bande qu'on peut faire à peu près aussi mince qu'on voudra. De là une réduction considérable des résistances au mouvement. Comparé à celui de vannes planes ordinaires de mêmes dimensions, le travail des frottements est diminué théoriquement, à Torcy-Neuf, de 92 pour 100. Et il ne l'est pas beaucoup moins en fait.

Ces trois vannes de prise d'eau sont mues avec une grande facilité par trois crics à un cinquantième, placés dans une borne en fonte unique, dressée au milieu de la plate-forme de la tour.

On a très heureusement encore, à Torcy-Neuf, complété ces trois vannes de prise d'eau par une quatrième vanne, beaucoup plus grande, fonctionnant comme vanne de garde, établie sur le même principe, et qui obture tout l'aqueduc de fuite des bondes. Elle est posée à l'intérieur et au bas du puits, dans la tour.

Cette vanne, encore toute métallique sauf un simple joint de caoutchouc, a 1 m. 80 de hauteur sur 1 m. 10 de largeur. Elle figure un fort wagonnet en tôle, roulant, par deux paires de roues, sur des rails verticaux scellés dans les maçonneries du puits. Ce wagonnet se lève, sans s'y appuyer, contre un châssis en fonte fixé devant l'aqueduc de fuite. Le contact se fait, suivant un plan légèrement incliné, par un cadre formé de règles de joint en bronze, indépendant du wagonnet, mais que celui-ci entraîne dans son mouvement. L'étanchéité est obtenue par un boudin en caoutchouc interposé entre les règles de joint et le wagonnet. Les faces de contact de ces règles avec le caoutchouc sont galvanisées.

Un cric agit sur la longue tige de suspension. Il est placé sur la plate-forme de la tour, dans la même borne que les crics des bondes, et en occupe la quatrième face.

A pleine retenue, la hauteur de l'eau sur le centre de la vanne de garde est de 15 m. 60. Tandis que la pression sur cette vanne pleine, d'environ 2 mètres carrés de surface, serait de 27 000 kilogrammes environ, les règles de joint ne sont pressées que par une force totale de 5 000 kilogrammes. L'effort nécessaire pour lever le wagonnet ne dépasse pas, en effet, 2 200 kilogrammes, qu'on peut décomposer en 1 000 kilogrammes de poids propre des appareils et 1 200 kilogrammes de frottement (*coefficient* 0,40). Cet effort s'exerce de la manière la plus aisée avec un cric à 1/750. = 36,4

Mise en place en juillet 1888, cette vanne de garde fonctionne parfaitement. Elle a donné la faculté, des plus intéressantes, de maintenir constamment l'eau, à l'intérieur du puits, à la hauteur que l'on juge préférable, selon qu'on augmente plus ou moins la levée du wagonnet. On peut réduire à volonté, et presque à rien, la hauteur de chute des eaux qui tombent dans la tour, soit par déversement, soit par les tirements des bondes.

Quelle que soit cependant la valeur de cet ingénieux système de vannes, ce n'est pas sans doute celui que nous emploierions aujourd'hui, et ce n'est pas celui que nous comptons employer au nouveau grand réservoir projeté encore au canal de Bourgogne. Au lieu des trois vannes de prise d'eau de la tour de Torcy-Neuf, on aurait pu, pensons-nous, adopter avec avantage un unique, plus simple et plus robuste appareil, la simple vanne cylindrique verticale décrite dans les *Annales des Ponts et chaussées* (août 1886), qui fonctionne à toutes les écluses et aux prises d'eau du canal du Centre, et qui a été admise aussi sur plusieurs autres canaux. Quand nous avons eu terminé l'agencement définitif de cette vanne cylindrique, et avons été bien assurés alors de son bon fonctionnement, nous avons pensé à l'utiliser à Torcy-Neuf. Mais il était trop tard; les maçonneries de la tour, déjà presque achevées, n'en permettaient plus l'installation.

La tour de prise d'eau, au lieu d'être murée de quatre côtés, présenterait, sur toute sa hauteur, un pertuis de 1 mètre de largeur, entretoisé par une série de petits arceaux superposés formant arcs-boutants. Des rainures permettraient de fermer ce pertuis par un barrage à pontielles, en avant des arceaux, pour isoler du réservoir l'intérieur de la tour.

La vanne serait placée au fond du puits. Il lui suffirait d'un diamètre de 75 centimètres pour donner un débit égal à celui des deux vannes supérieures de Torcy-Neuf ouvertes simultanément, le réservoir étant plein (4 m. 41 par seconde), et on n'aurait à la lever que de 20 centimètres. Le poids de la partie mobile, y compris la tige de manœuvre, ne dépasserait pas 200 kilogrammes. Il n'y aurait plus à vaincre aucun frottement, pour ainsi dire. Avec un cric au cinquième, l'effort à exercer sur la manivelle serait au plus de 5 kilogrammes. Le prix de l'appareil complet, en place, construit avec beaucoup de solidité, ne dépasserait pas 900 francs.

Le barrage à poutrelles serait laissé en permanence dans le pertuis. Au moment d'un tirage, on enlèverait seulement, à la partie supérieure, quelques poutrelles en contre-bas du niveau de l'eau, pour remplir le puits et l'établir en libre communication avec le réservoir. Après le tirage, ce barrage serait relevé facilement et rapidement. On pourrait ainsi toujours, au besoin, vider la tour pour visiter et réparer la vanne.

Il serait facile aussi, tout en restant dans une dépense très minime, de mettre au fond de la tour deux vannes cylindriques verticales au lieu d'une, encore un peu plus petites, de 60 centimètres seulement de diamètre par

exemple. On pourrait de la sorte assurer les envois d'eau même en cas d'accident à l'un des appareils.

Pour réduire beaucoup, sinon supprimer tout déversoir spécial, on pourrait aussi permettre l'ouverture, par des poutrelles, des parties supérieures des trois autres côtés de la tour.

Le mètre cube de capacité ressort, au réservoir de Torcy-Neuf, le dernier construit, à 0 fr. 25 environ. Il était revenu à 0 fr. 27 au Plessis, à 0 fr. 125 seulement à Montaubry, où la digue est extraordinairement courte, pour un cube emmagasiné considérable.

Avant de quitter le canal du Centre, on dira encore quelques mots d'un dispositif fort utile et ingénieux qui lui est spécial, qui est resté beaucoup trop peu connu, et qui se rattache à la question des réservoirs : il sert à répartir leurs eaux, de la manière la plus heureuse, dans des séries de petits biefs très courts. C'est la *rigole régulatrice*. Elle a été créée, en 1829, par M. l'ingénieur en chef Vallée, le même qui a établi les premiers revêtements de réservoirs par gradins indépendants.

Elle a un double but : maintenir chacun des biefs courts à une tenue constante et alimenter la partie inférieure du canal sans les traverser.

Pour cela, une rigole est établie latéralement au canal, mise en communication avec chaque bief par un aqueduc, et barrée, à l'aval de cet aqueduc, par un déversoir arasé au niveau de la tenue de ce bief. Des murs de chute, étagés de distance en distance pour diviser la hauteur que rachètent les écluses, répartissent la rigole en bassins successifs dans lesquels la pente superficielle de l'eau reste assez faible pour que les talus ne soient pas corrodés.

Les tirements du réservoir arrivent à la rigole, et non au canal. Si tous les petits biefs sont à la tenue normale, ces tirements ne font que parcourir la rigole jusqu'à la partie inférieure du canal à alimenter. Si, au contraire, un petit bief se trouve bas, le courant, arrêté dans la rigole par le déversoir régulateur qui la barre, relève d'abord ce bief ; il ne s'écoule, pour aller rétablir de même les autres petits biefs ou continuer plus loin, que quand le niveau réglementaire est regagné. Par un effet semblable, l'eau en excédent versée dans un petit bief, par une éclusée ou par une prise d'eau naturelle, est conduite à l'aval, dès que le niveau de ce bief est convenable, par la rigole seule ; le déversoir oblige l'excédent à quitter le bief pour suivre la rigole.

2° CANAL DE BOURGOGNE

Le canal de Bourgogne dispose de six réservoirs d'une contenance totale d'environ 51 800 000 mètres cubes. Cinq, dont trois donnant au point de partage et deux au versant de la Saône, datent de la mise en exploitation du canal (1850-1858) ; les plus importants sont Grosbois (9 220 000 mètres

cubes)', Chazilly (5 190 000 mètres cubes), Panthier (8 050 000 mètres cubes). Le sixième réservoir, celui de Pout, (5 500 000 mètres cubes) sur le versant de l'Yonne, a été construit récemment, de 1878 à 1881.

Panthier et Cercey. — Deux seulement de ces réservoirs, Panthier, un des plus considérables, et Cercey, sont établis avec digues en terre. Ils ne diffèrent des réservoirs du canal du Centre en rien de capital et qui présente un grand intérêt. On signalera seulement les dispositions données aux talus et aux revêtements des digues et les consolidations qui ont été faites à ces ouvrages (voir page 14 la coupe de la digue de Cercey).

La hauteur totale de la digue au-dessus du radier de l'aqueduc de vidange est à peu près la même à Cercey (15 m. 50) et à Panthier, (15 m. 94); celui-ci considérablement agrandi en 1875). A l'une et à l'autre, le talus extérieur a sa base double de sa hauteur. Le talus intérieur est incliné à 2,40 pour 1 à Cercey, et revêtu d'un simple perré continu en maçonnerie, de 50 centimètres d'épaisseur. Ce perré est relevé, à sa partie supérieure, en forme d'arc de cercle, dans le but de rejeter les vagues à l'intérieur du réservoir et d'en amortir les effets. A Panthier, l'inclinaison totale du talus inférieur est de 2 1/4 de base pour 1 de hauteur, avec revêtement maçonné de 50 centimètres d'épaisseur, formant quatre perrés en gradins, séparés par des bermes de 3 mètres. On a en outre, à Panthier, protégé le pied de la digue par une grande berme inférieure de 6 mètres de largeur, terminée par un mur de garde de 1 m. 50 d'épaisseur, descendu jusqu'à la marne rocheuse du lias.

Ces digues ont été faites avec les terres trop argileuses de la région supérieure du canal de Bourgogne. Il y a là une condition fâcheuse, inhérente au terrain. Malgré les précautions prises, il s'y produit des glissements inquiétants. On y établit, pour consolidations, sur des formes creusées dans la masse des corrois, des contreforts, ou plutôt des cloisons en maçonnerie, perpendiculaires à l'axe de la digue, la coupant dans toute sa partie d'amont. A Cercey, ces cloisons ont 2 mètres d'épaisseur, et sont espacées de 12 mètres seulement, elles forment chacune trois voûtes rampantes, de 6 mètres d'ouverture, dont les piédroits ne descendent qu'à 5 mètres dans la masse du remblai; on a en outre fortement buté le pied de celui-ci, dans les parties en mouvement, par un gros mur de 4 m. 50 de largeur moyenne sur 4 mètres de hauteur. A Panthier, lors de son agrandissement, on dispose de même des cloisons transversales pour limiter les glissements et consolider toute la digue. Elles sont espacées de 40 mètres et n'ont que 1 m. 50 d'épaisseur. Elles sont supportées par deux larges arceaux, dont les piédroits sont descendus jusqu'au terrain résistant.

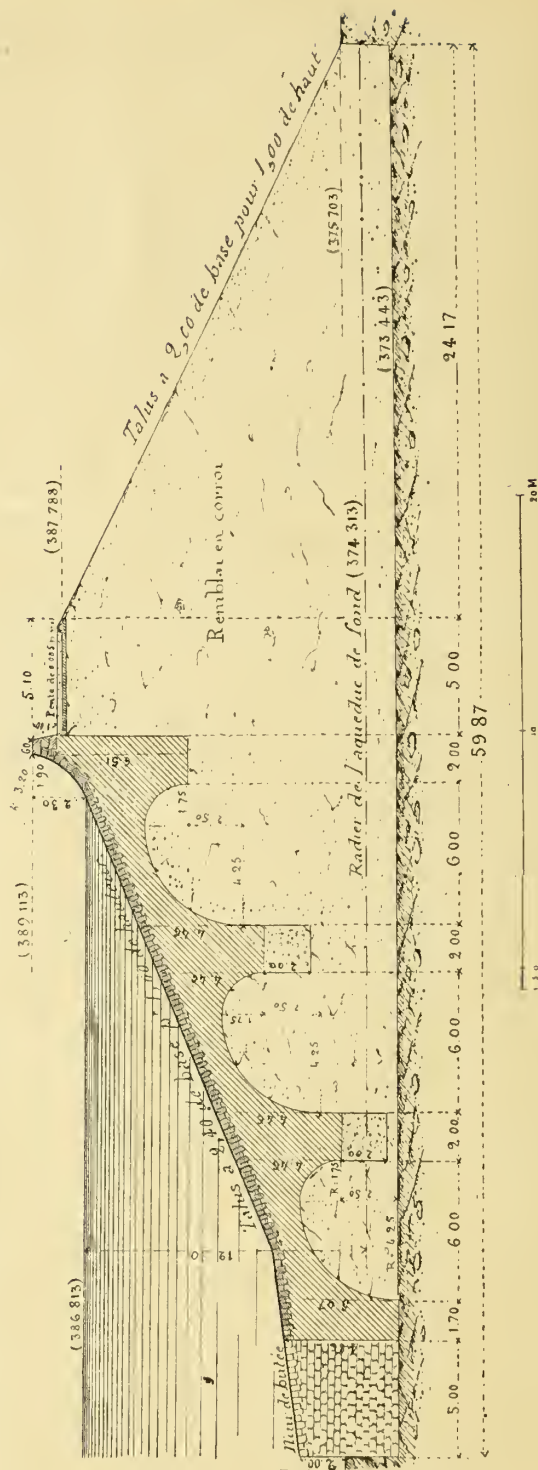
Les quatre autres réservoirs du canal de Bourgogne sont fermés par des barrages en maçonnerie. Malgré que deux d'entre eux au moins, ceux de Grosbois et de Chazilly, soient de très beaux ouvrages, fort

imposants, on n'en dira ici que quelques mots, la place qui était accordée pour le présent rapport étant déjà dépassée. Ils ne présentent d'ailleurs pas de dispositions d'un intérêt spécial, à imiter, et qui méritent bien d'être signalées. Il vaut mieux laisser traiter la question des barrages en maçonnerie par les services où il en a été construit de plus récents et de plus perfectionnés.

Grosbois et Chazilly.

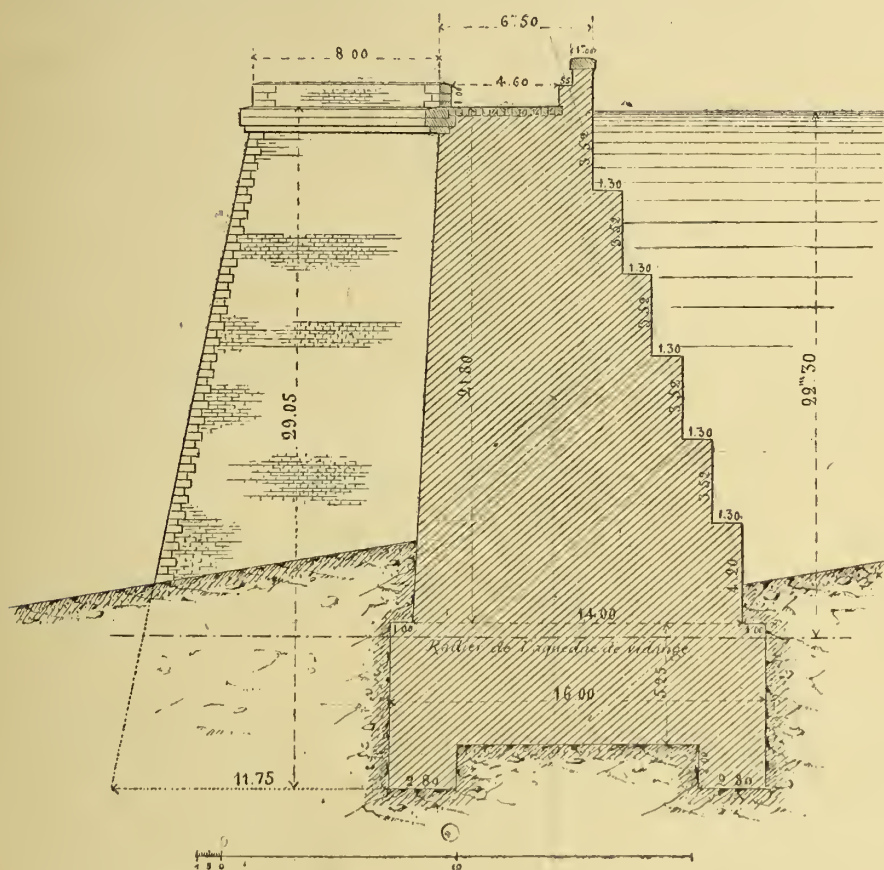
— Les trois réservoirs anciens, Grosbois, Chazilly et Tillot, ont leurs barrages construits d'une façon fort différente de celle admise depuis la création du réservoir du Furens. C'est le parement amont qui est notablement incliné, au moyen de fortes retraites successives; le parement aval a seulement un fruit de 1/20.

Par suite sans doute de ce grave défaut de construction, ces murs, notamment celui de Grosbois, le plus important, fléchissent sous la charge d'eau (22 m. 50) et des lézardes s'y produisent. On adossa alors des contreforts puissants au



Réservoir de Cercey.

parement d'aval. A Grosbois on en éleva sept d'abord, puis deux autres plus tard. Fondés à la même profondeur que le barrage lui-même, se dressant jusqu'au niveau du couronnement avec 8 mètres de saillie, un fruit de $1/5$ sur la face extérieure et de $1/10$ sur les faces latérales, et avec une largeur de 5 m. 60 au sommet, ces neuf contreforts ont donné à l'ouvrage un effet architectural grandiose et majestueux. A



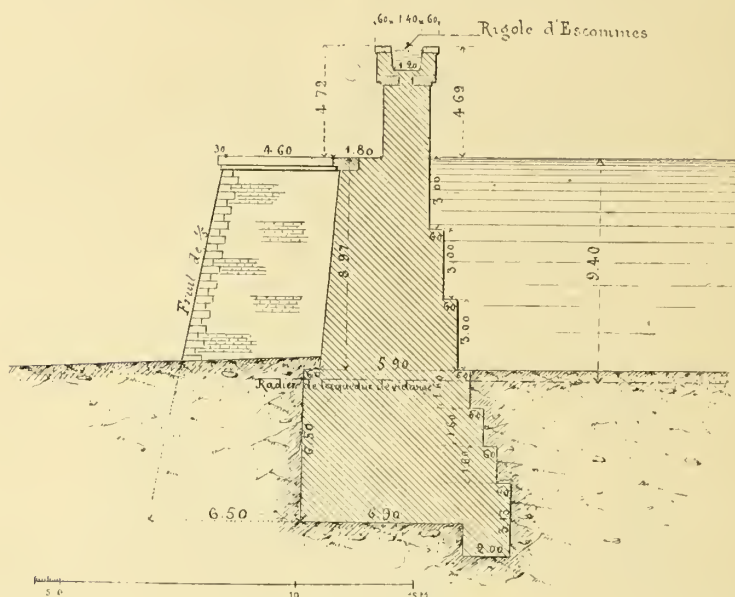
Réservoir de Grosbois.

Chazilly, dont le barrage, à peu près identique à celui de Grosbois, est presque exactement aussi des mêmes dimensions, on n'a élevé que six contreforts semblables, et l'effet est encore très remarquable. Mais il est payé chèrement au prix de ces énormes massifs de maçonneries.

Aujourd'hui ces grands murs paraissent stables. Néanmoins l'errenr de profil se fait toujours sentir. A Grosbois, entre les contreforts, le parement d'aval s'écrase sous la pression et se décolle. On est obligé, en en reprenant diverses parties presque chaque année, de le refaire à peu près en entier.

Le barrage du Tillot, fort petit réservoir (520 000 mètres cubes), a été construit en partie pour donner passage, sur son couronnement, à la rigole menant au point de partage les eaux du réservoir de Chazilly. Autrement, celle-ci aurait dû contourner tout le vallon, avec une augmentation de parcours de 4 kilomètres.

Une autre condition fâcheuse et malheureusement générale des résér-



Réservoir du Tillot.

voirs du canal de Bourgogne est la grande longueur de rigoles qu'ils ont exigée, tant pour mener leurs eaux au canal, dont ils sont assez éloignés, que, surtout, pour aller chercher celles d'autres versants que leurs versants directs, souvent insuffisants à les remplir. Ces rigoles coûtent fort cher de construction et d'entretien, et entraînent en outre de grandes déperditions d'eau. Elles présentent ensemble une longueur totale de plus de 70 kilomètres. Cercey a une rigole de remplissage de 17 kilomètres; Chazilly en a deux, de 16 kilomètres 1/2 ensemble; Grosbois a une rigole d'alimentation (menant au canal), de 15 kilomètres, dont une partie de 5 075 mètres en souterrain.

Pont. — Le barrage de Pont, près de Semur, est le seul du canal de Bourgogne qui offre un profil du type consacré aujourd'hui par la théorie du mur du Furens. La retenue d'eau y est de 20 mètres au-dessus du radier des aqueducs de vidange. Le parement amont s'élève d'abord par une partie verticale de 5 m. 50 de hauteur au-dessus de ce radier, puis, après une banquette horizontale de 1 m. 50 de largeur, avec un fruit de

1/20° jusqu'au sommet. Le parement aval descend, sur 18 mètres de hauteur, suivant un arc de cercle de 30 mètres de rayon, continué suivant la tangente, c'est-à-dire avec une inclinaison de 3 de base pour 4 de hauteur. La largeur en plate-forme, y compris un double parapet, est de 4 m. 30. Ce profil est renforcé par 8 contreforts, de 3 mètres de saillie, conduits avec les mêmes courbures et inclinaisons que le parement aval du mur, et avec fruit de 1/20° à leurs parements latéraux.

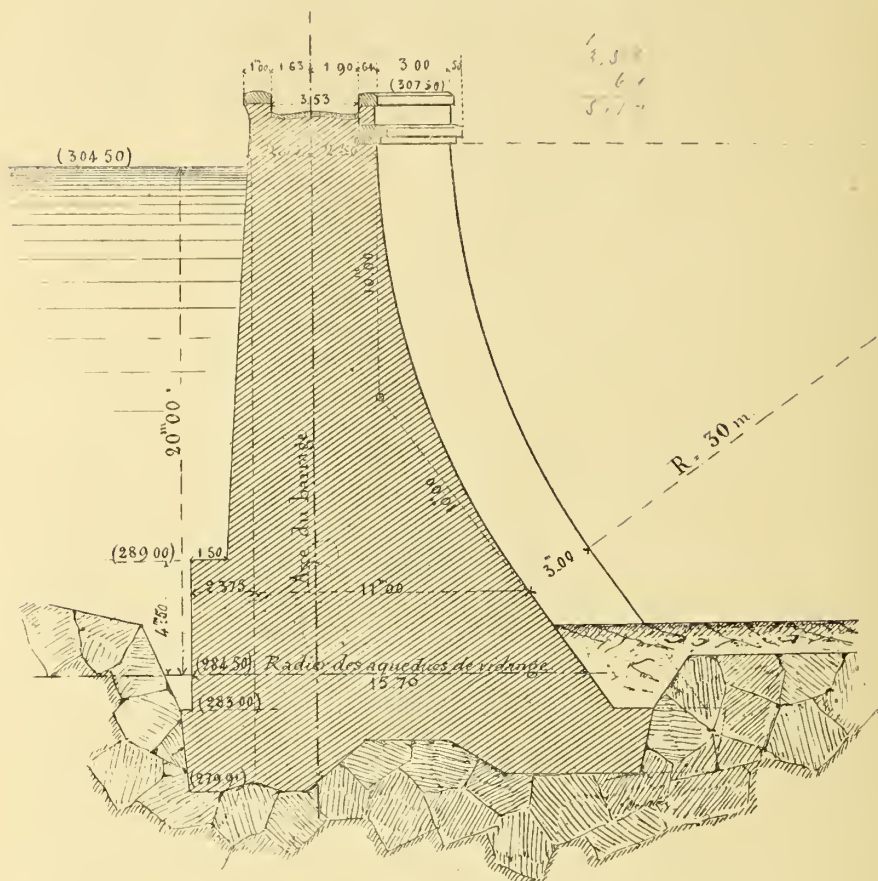
Tracé en plan suivant un arc de cercle de 400 mètres de rayon, ce barrage n'a que 150 mètres de développement, avec 7 m. 10 de flèche. Il est fondé sur un granit compact, dans lequel il est ancré par de larges enracinements (voir page 18 le profil du mur de ce réservoir).

Établi en travers de la vallée de l'Armançon, rivière torrentielle qui a déjà là un versant de 275 kilomètres carrés, le réservoir de Pont sert autant à la régularisation des crues subites, au profit de la ville de Semur et des usines d'aval, qu'à l'alimentation du canal. Celui-ci ne peut en recevoir les eaux qu'à 30 kilomètres plus bas. On a dû ménager un déversoir de superficie de 30 mètres de longueur. Sa rigole de chute, taillée dans le granit, est en courbe parabolique, continuée par plusieurs hauts gradins. Tout le débit de la rivière, qui permettrait de remplir chaque année le réservoir 16 à 18 fois, doit passer par le déversoir, si l'on ne tient pas ouverts les orifices de vidange. Mais on ne ferme guère ceux-ci que pendant la saison sèche, de crainte d'un envasement rapide du réservoir. Ce sont là des conditions médiocrement satisfaisantes pour le canal.

Pour obvier le plus possible à l'envasement, on a donné aux orifices de vidange de petites sections, permettant d'y faire des classes. Ils consistent en deux aqueducs maçonnés, de 1 m. 00 de largeur et 1 m. 20 de hauteur sous clef, fermés par des vannes en fonte manœuvrées depuis la banquette à 3 m. 50 de hauteur, et en cinq conduites, de 80 centimètres de diamètre, en tôle dans les maçonneries du barrage, en fonte à l'extérieur, munies d'un double robinet-vanne, un de fermeture et un de garde. La manœuvre de ces robinets, qui se fait dans une chambre établie au pied et en aval du barrage, est très dure et lente à la main; il a fallu la faciliter par l'addition d'une petite turbine, de 1 m. 10 de diamètre et de 10 chevaux de force minimum.

Comme prises d'eau, neuf petits aqueducs de 1 mètre de hauteur et 70 centimètres de largeur, parallèles au barrage, débouchent, trois par trois, à trois étages différents, distants de 4 m. 50, dans une tour accolée au mur. Celle-ci est évidée en un puits de section circulaire, de 2 m. 50 de rayon et d'un peu plus d'une demi-circonférence. Les neuf vannes sont en fonte. De même qu'aux réservoirs de Grosbois et de Chazilly, elles se manœuvrent par des crics placés sur des plates-formes établies aussi à trois étages successifs, et où l'on accède au moyen d'escaliers construits sur des arcs d'hélices, de rayons successivement croissants, contournant la tour. — Du fond du puits, les eaux sont conduites à l'aval de la digue par une

dérivation souterraine creusée dans le rocher vif, dérivation qui a servi



Réservoir de Pont.

à détourner les eaux de l'Armançon pendant l'exécution du barrage.

RESUME

De l'exposé de ces systèmes divers d'établissement des réservoirs, il n'y a pas à tirer de conclusions générales. Les dépenses de construction, extrêmement variables avec les conditions locales, ne peuvent être comparées entre elles avec quelque utilité. A chaque cas convient sa solution particulière.

On proposera seulement ici les conclusions suivantes, pour les digues en terre des grands réservoirs, que l'on a étudiées plus complètement.

Les terres les meilleures sont celles qui se rapprochent le plus d'une teneur de deux de sable pour un d'argile. Avec de bonnes terres, on pour-

rait admettre des hauteurs de retenue atteignant jusqu'à 20 mètres au moins. Le profil le plus satisfaisant et le plus économique est, pour le talus intérieur, celui à petits gradins indépendants, de 1 m. 50 à 1 m. 80 de hauteur, inclinés à 45° et séparés par des berms de 80 centimètres à 1 mètre de largeur, avec une berme de largeur double tous les 5 à 6 mètres. Le talus extérieur peut n'être incliné qu'à 1 1/4 ou 1 1/2 pour 1. Le meilleur revêtement, pour les berms comme pour les perrés, est une maçonnerie de moellons, sur béton, de 40 à 50 centimètres d'épaisseur totale.

Le battage des terres à la main doit être évité autant que possible, pour ne guère admettre que celui par chevaux, et surtout celui à la vapeur. On peut battre les terres en corrois, à la vapeur, pour moins de 25 centimes par mètre cube. Il importe de ne pas interposer dans la digue des massifs de maçonneries interrompant le battage en grand.

Les couronnements des déversoirs doivent être tenus bas et complétés par des hausses facilement amovibles, afin de pouvoir débiter les plus fortes tombées d'eau.

Les prises d'eau peuvent être établies avantageusement dans une tour élevée au pied et en amont de la digue. De petites vannes cylindriques verticales seraient très commodes et économiques. A défaut, on peut encore manœuvrer des vannes avec des appareils de levage de faible puissance, même sous de grandes charges d'eau, en transformant en frottements de roulement la plus grande partie des frottements à vaincre.

On peut aussi, avec la tour en amont de la digue, réduire beaucoup, sinon supprimer même les déversoirs spéciaux. Au moyen d'une vanne de garde, la hauteur de chute des tirements ou des déversements peut être réduite à volonté.

On peut enfin, par une rigole régulatrice, maintenir automatiquement une série de biefs courts à une tenue constante, et alimenter le canal au delà sans passer par ces biefs.

Dijon, le 10 février 1892.

1

V^{ème} CONGRÈS INTERNATIONAL DE NAVIGATION INTÉRIEURE
PARIS 1892

4^{me} QUESTION

DES

PRINCIPAUX RÉSERVOIRS

ÉTABLIS EN RUSSIE

RAPPORT

PAR

M. ÉMILE HOERSCHELMANN

Ingénieur des voies de communication à Saint-Petersbourg

PARIS

IMPRIMERIE GÉNÉRALE LAHURE

9, RUE DE FLEURUS, 9

1892

DES PRINCIPAUX RESERVOIRS

ÉTABLIS EN RUSSIE

RAPPORT

L A B

M. ÉMILE HOERSCHELMANN

Ingénieur des voies de communication à Saint-Petersbourg.

Les principaux réservoirs d'eau établis en Russie ont pour but l'alimentation artificielle des voies navigables. Mais, en général, ce ne sont pas, comme dans les autres pays, des canaux à écluses qui sont alimentés par les eaux des réservoirs, ce sont des rivières à courant libre. Pendant on immédiatement après la fonte des neiges, on enmagasine dans les réservoirs des quantités considérables d'eau, qu'on lance plus tard dans le lit des rivières. De cette manière on réussit à maintenir, durant des périodes plus ou moins prolongées, la navigation sur plusieurs rivières où, à défaut de ces crues artificielles, elle serait forcée de chômer, par suite de manque d'eau, pendant la plus grande partie de l'été.

Parmi les réservoirs établis en Russie, le plus important est le réservoir Verkhnévoljsky, qui sert, pendant la période de navigation, à l'alimentation du Haut-Volga, sur une longueur de 675 verstes (720 kilomètres), à partir du réservoir qui est fermé par un barrage construit dans le lit même du fleuve, jusqu'à l'embouchure de la Cheksna, près de la ville de Rybinsk.

Le réservoir Verkhnévoljsky comprend les parties suivantes¹ : 1° le lit et la vallée inondée du Volga, sur une longueur de 5 verstes (5 kilom. 55), en amont du barrage susmentionné ; 2° le lac Volgo, d'une longueur de 7 verstes (7 kilom. 48), et d'une largeur de 2 verstes à 2 verstes et demie (2 kilom. 13 — 2 kilom. 67) ; 3° la partie de la vallée du Volga comprise entre les lacs Volgo et Péno sur une longueur de 40 verstes (42 kilom. 67) et une largeur moyenne submergée de 2 verstes et demie (2 kilom. 67) ; 4° le lac Péno, d'une longueur de 8 verstes (8 kilom. 55) et d'une largeur

1. Voir la carte sommaire (planche 1).

de 2 verstes et demie; 5° le lac Vsélouk dont la longueur est de 15 verstes (16 kilom.) et la largeur atteint en quelques endroits $\frac{1}{2}$ verstes ($\frac{1}{2}$ kilom. 27); 6° le tronçon du Volga entre les lacs Vsélouk et Sterge, d'une longueur de 5 verstes; et enfin 7° le lac Sterge, d'une longueur de 12 verstes (12 kilom. 90). Ainsi la longueur totale du réservoir Verkhnévoljsky atteint 90 verstes (96 kilom.) et sa largeur moyenne est de 2 à 5 verstes.

Parmi les affluents qui se jettent dans le réservoir, les plus importants sont les suivants. Du côté droit : 1° la Rouna qui traverse toute une série de lacs, notamment les lacs : Lioubtsy, Kvochnia, Notochnia et Kolpino; 2° la Koud; 5° la Joukopa, le plus grand de ces affluents; ce dernier est d'une extrême importance pour l'alimentation du réservoir; au printemps, pendant les grandes crues, qui sur cette rivière durent de 10 à 12 jours, son débit est si abondant qu'à son embouchure dans le Volga le courant forme temporairement une crue locale qui se partage en deux parties dont l'une se dirige vers l'amont et l'autre vers l'aval. La quantité d'eau qui reflue vers l'amont suffit pour élever le niveau des lacs Péno, Vsélouk et Sterge jusqu'à la hauteur réglementaire de la retenue du réservoir, c'est-à-dire à 2 sagènes et demie (5 m. 55) au-dessus du seuil du barrage Verkhnévoljsky; 4° la Lemennka et 5° la Doubennka. Du côté gauche le réservoir ne reçoit pas d'affluents de quelque importance, parce qu'il n'y a qu'un faite très étroit entre les lacs qui font partie du réservoir et le grand lac Séliguère, situé au nord-est.

Le niveau de la retenue, immédiatement en amont du barrage, s'élève à 2 sag. 80 (5 m. 97) au-dessus des plus basses eaux du Volga. L'épaisseur de la couche d'eau qu'on peut faire écouler du bassin par le barrage est de 2 sagènes ($\frac{1}{2}$ m. 27). La hauteur d'eau dans le réservoir n'est jamais inférieure à 0 sag. 50 (1 m. 07) au-dessus du seuil du barrage; elle descend seulement à ce niveau quand toutes les passes du barrage sont complètement ouvertes. Comme, d'autre part, les tronçons du Volga qui font partie du réservoir Verkhnévoljsky ne sont pas sans avoir quelque pente, l'épaisseur de la couche d'eau dont on peut profiter pour l'alimentation du fleuve en aval du barrage n'est pas égale dans les différentes parties du réservoir; dans le lac Volgo elle atteint 2 sagènes ($\frac{1}{2}$ m. 27), dans les lacs Vsélouk et Péno elle dépasse un peu 1 sagène (2 m. 15) et, enfin, dans le lac Sterge le niveau de la retenue s'élève au-dessus de l'étiage du lac de 0 sag. 80 (1 m. 71) au plus.

Le volume d'eau d'alimentation que peut donner le réservoir durant la période de navigation, d'avril à octobre, est d'au moins 40 millions de sagènes cubes (597 millions de mètres cubes), dans les années de sécheresse excessive; en temps ordinaire, quand les pluies ne sont pas trop rares, le volume disponible est beaucoup plus considérable. En moyenne, le débit du barrage est de 6 sagènes cubes (59 mc. 57) par seconde, ce qui fait à peu près $\frac{1}{2}$ million de sagènes cubes (4856 000 mètres cubes) par jour. Une telle quantité d'eau fait hausser le niveau du Volga : à Rjef,

à une distance de 145 verstes (154 kilom. 69) en aval du barrage, — de 0 sag. 40 (0 m. 85); à Tver, à 520 verstes (541 kilom. 58) du barrage, — de 0 sag. 20 (0 m. 45) au plus; et ainsi de suite, avec l'augmentation de la distance, la surélévation du niveau d'eau diminue peu à peu. Sur les hauts-fonds de Koprine, à une distance de 620 verstes (661 kilom. 42), elle atteint à peine 0 sag. 02 (0 m. 045) et à l'embouchure de la Cheksna, près de la ville de Rybinsk, à 675 verstes (720 kilomètres) le débit supplémentaire fourni par le réservoir Verkhnévoljsky ne produit plus d'effet tant soit peu appréciable.

Quand le débit du barrage dépasse 6 sagènes cubes à la seconde, le niveau du fleuve à Tver s'élève de plus de 0 sag. 20; quelquefois la hauteur de la crue atteint 0 sag. 50 (0 m. 64). En temps ordinaire la navigation du Haut-Volga profite des eaux du réservoir pendant 80 ou 90 jours : du 10 mai jusqu'au 20 juin, et du 20 juillet jusqu'au 1^{er} ou 10 septembre. Après cette date le barrage reste ouvert pendant tout l'hiver, et le niveau du fleuve en automne dépend de la quantité des pluies.

La surélévation artificielle du niveau dans la partie du Volga en amont du barrage Verkhnévoljsky produit en quelques endroits des affouillements considérables. Près des villages Kachélévo, Zavirié, Sélistché et autres, les berges du fleuve qui ont une hauteur de plusieurs sagènes ont reculé de 100-150 sagènes (215-520 mètres), à tel point que quelquefois on a été obligé de déplacer des maisons et autres constructions situées sur le bord du fleuve.

Le barrage Vekhnévoljsky qui forme le réservoir du même nom a été construit en 1845. Il a 5 passes dont chacune a 4 sagènes (8 m. 55) de largeur. Les fondations du barrage sont en maçonnerie. Les piles sont formées par des caissons en bois, remplis de pierres et de terre argileuse; leur hauteur est de 5 sagènes et demie (7 m. 47) au-dessus du senil du barrage. Les piles du barrage supportent un pont en bois. Les passes sont fermées par des vannes en bois s'appuyant contre des montants également en bois au nombre de 8 pour chaque passe. En égard à la pression d'eau considérable à laquelle sont exposés les montants et les vannes, on en a fait deux rangées dans chaque passe de manière à subdiviser la hauteur de la retenue en deux niveaux superposés, et à former ainsi entre les deux rangées de vannes une espèce de sas rempli à mi-hauteur. Toutefois la passe du milieu dont le seuil est d'une sagène (2 m. 15) plus élevé que ceux des passes voisines ne possède qu'une seule rangée de vannes. Le niveau de la retenue s'élève à 2 sagènes et demie (5 m. 55) au-dessus du seuil des passes profondes. Cet ouvrage est représenté Pl. III.

La partie du Haut-Volga comprise entre Tver et Rybinsk est encore alimentée par les eaux du réservoir Zavodsky. A l'origine, ce réservoir était principalement destiné à l'alimentation du système fluvial Vychnévolotsky, la plus ancienne des trois voies navigables artificielles qui rattachent la Néva au Volga (systèmes fluviaux : Vychnévolotsky, Tikhvinusky

et Marie). A cette époque, les eaux du réservoir Zavodsky alimentaient simultanément les deux versants, côté de la Baltique et côté de la Caspienne, du système fluvial Vychnévolotsky. A l'heure actuelle, ce système n'a plus d'importance comme voie de transit rattachant le bassin du Volga à la ville de Saint-Petersbourg. La plupart du temps, la navigation a seulement lieu à la descente, séparément sur chacun des deux versants du système, et surtout dans leurs parties inférieures, sans passer par le bief de partage. Les eaux du réservoir Zavodsky sont dirigées presque exclusivement sur le versant de la Caspienne, en servant ainsi à l'alimentation du Haut-Volga sur lequel le mouvement de la navigation augmente continuellement.

Le réservoir Zavodsky est situé sur le plateau de Valdaï à quelques verstes de distance de la ville de Vychni-Volotchok et du bief de partage du système fluvial Vychnévolotsky; il est formé par la retenue des eaux de la Tsna et de ses affluents. Un grand barrage a été construit dans le lit de la Tsna. Le réservoir n'a pas eu dès le début ses dimensions actuelles. Le premier barrage sur la Tsna a été construit en 1722. Il était entièrement en bois et le niveau de sa retenue s'élevait à peine à une sagène (2 m. 15) au-dessus du niveau naturel de la rivière. Plus tard, pour augmenter le volume d'eau emmagasiné dans le réservoir, on a graduellement exhaussé le barrage et l'on a construit d'autres ouvrages auxiliaires qui contribuent à renforcer l'alimentation du réservoir. Sur la Chlina, principal affluent de la Tsna (voir la carte Planche II), on a établi un barrage à 10 verstes (10 kilom. 67) de distance de son embouchure. Des canaux ont été creusés entre la Chlina, le lac Klioutchino, le lac Gorodolioubskoïé et la Tsna, sur une longueur totale d'à peu près 8 verstes et demie. Avec le développement graduel du trafic sur le système Vychnévolotsky s'imposait la nécessité d'augmenter la capacité du réservoir. Dans ce but on a construit des barrages sur les rivières Chlina et Granichna à leur sortie des lacs Chlino et Sérémio, qui forment eux-mêmes des réservoirs supplémentaires dont les eaux servent à relever le niveau du réservoir Zavodsky. Quant au premier barrage, établi sur la Chlina, à 10 verstes de son embouchure dans la Tsna, il a été remplacé plus tard par une digue, située à 6 verstes en aval de l'ancien barrage.

Peu à peu le niveau de la retenue du barrage Zavodsky avait atteint la hauteur de 2 sagènes et demie (5 m. 55) au-dessus du seuil du barrage; c'était beaucoup pour un barrage qui avait été graduellement exhaussé sans que toutes les dimensions de l'ouvrage eussent été mises en rapport avec une pareille pression d'eau. Pour éviter cet inconvénient on a remplacé l'ancien barrage de bois par un nouvel ouvrage en maçonnerie, et en 1846 on y a ajouté un second barrage, en bois, à 150 sagènes (520 mètres) de distance en aval du premier. La hauteur de la retenue du second barrage est de 1 sag. 55 (2 m. 84). C'est ainsi que la pression d'eau sur le

barrage supérieur se trouve diminuée presque de moitié. — Ces deux barrages existent encore à présent. Ils sont représentés planches IV et V.

Lorsque la hauteur de la retenue a atteint 2 sagènes et demie, tout l'espace compris entre les barrages Zavodsky et les lacs Gorodolioubouïé et Klioutchino a été inondé en formant un réservoir unique sans solution de continuité d'une surface d'à peu près 60 verstes carrées (68 kilomètres carrés). Le volume d'eau disponible qui peut être lancé de ce réservoir dans la Tsna est d'à peu près 17 millions de sagènes cubes (168 millions de mètres cubes), non compris celui qui s'écoule continuellement par les barrages Zavodsky, et dont le débit est de 250 000 à 500 000 sagènes cubes (2 482 000 à 4 964 000 mètres cubes) par jour au printemps ; d'à peu près 150 000 sagènes cubes (1 489 000 mètres cubes) par jour en été et de 75 000 sagènes cubes (744 000 mètres cubes) par jour pendant les périodes de grande sécheresse. En totalité le réservoir Zavodsky fournit 50 à 60 millions de sagènes cubes d'eau par an. La superficie du bassin de la Tsna, qui avec ses affluents alimente le réservoir, est d'à peu près 7 000 verstes carrées (7 966 kilomètres carrés). La Tsna, en amont du barrage Zavodsky, a une longueur de 150 verstes (159 kilomètres) ; celle de la Chlina est de 112 verstes (119 kilom. 48), et celle de la Granielma de 44 verstes (47 kilomètres). La superficie générale des réservoirs auxiliaires formés par des lacs, avec ou sans retenue de leurs eaux par des barrages, dans le bassin de la Tsna, est d'à peu près 120 verstes carrées (156 kilomètres carrés).

Le réservoir Zavodsky avec ses affluents forme tout un système de voies flottables sur lesquelles le flottage des trains de bois, grâce à l'alimentation artificielle des cours d'eau, se fait non seulement au printemps, comme sur d'autres petites rivières flottables, mais aussi en été et en automne. Presque tout le bassin de la Tsna est couvert de vastes forêts qui fournissent une grande quantité de bois d'espèce différente au chemin de fer Nicolas (de Saint-Petersbourg à Moscou), et aux deux capitales de l'empire, ainsi qu'à une quantité de fabriques installées dans les environs du réservoir. Eu égard à sa profondeur considérable, le remorquage des trains de bois se fait à la vapeur dans toute son étendue, ce qui contribue beaucoup à la diminution des frais de transport. L'importance économique du réservoir, qu'on peut comparer à un grand lac artificiel, est très considérable. La prospérité de toute la contrée adjacente en dépend en quelque sorte. Les paysans des environs sont occupés à flotter le bois ; la qualité de leurs terres a gagné par le creusement de plusieurs petits canaux et rigoles, qui, d'un côté, servent à l'alimentation du réservoir en facilitant l'écoulement des eaux des petits lacs et des terrains marécageux et qui, en même temps, contribuent au dessèchement des marais et à leur transformation en prairies, ce qui permet aux paysans d'augmenter le nombre de leur bestiaux et d'améliorer la culture des champs. Le niveau des rivières, gonflées par des crues artificielles, et de quelques-uns des principaux lacs,

dont les eaux sont retenues par des barrages, ainsi que le bon marché du bois de chauffage, sont très favorables au développement de différentes industries. Sur les bords du réservoir sont situées : trois grandes filatures de coton, dix verreries, trois scieries, deux tanneries, une distillerie, une fabrique de produits chimiques, et à peu près cinquante moulins. Tous ces établissements réunis emploient ensemble plus de 10 000 ouvriers. L'utilité du réservoir Zavodsky, tant pour la navigation que pour l'industrie, pourrait être encore augmentée par le curage des cours d'eau qui alimentent le réservoir, ce qui contribuerait en même temps au dessèchement de plusieurs terrains marécageux. Il serait également utile de donner la possibilité d'accroître la quantité d'eau qui est dirigée du réservoir par le canal Tvéretsky dans la Tvertsa et le Volga. Dans ce but on se propose de construire à côté de la demi-écluse Tvéretsky un barrage par les passes duquel un volume d'eau considérable pourrait être lancé dans la Tvertsa.

La fermeture, au printemps, des barrages Zavodsky doit être faite avec beaucoup de précautions. En cas de fermeture prématurée des passes des barrages, il peut arriver que des glaçons, qui se trouvent encore en plusieurs endroits sur les affluents du réservoir et les lacs qui font partie de ce réservoir, soient soulevés par les eaux de retenue et emportés vers les barrages. Alors les montants et les vannes qui ferment les passes des barrages sont exposés au choc des glaçons et peuvent être brisés par eux. Cet accident, s'il vient à se produire, a des conséquences désastreuses tant pour la ville de Vychni-Volotchok que pour la navigation des rivières alimentées par les eaux du réservoir. Les canaux Tvéretsky et Tsinnsky sont alors envahis par des quantités d'eau énormes qui débordent et inondent la ville. Une fois les montants brisés dans une ou plusieurs passes les barrages ne peuvent plus être refermés qu'après l'abaissement du niveau dans le réservoir; mais alors, les eaux de la crue de printemps s'étant écoulées, il n'y a plus possibilité de remplir entièrement à nouveau le réservoir et, en été, l'alimentation des cours d'eau faisant partie du système fluvial Vyahnévolotsky, ainsi que de la partie du Volga située entre Tver et Rybinsk, ne peut avoir lieu que d'une manière insuffisante. Pour faire écouler du réservoir Zavodsky l'excès des eaux de la crue de printemps on a été obligé d'installer, outre les barrages Zavodsky, un autre barrage qui porte le nom de Chichkovsky. Il est en bois; son système est semblable à celui du barrage inférieur Zavodsky, seulement il est de dimensions moindres; il n'a que deux passes au lieu de cinq. Du barrage Chichkovsky l'eau se dirige par le ruisseau Tobolka directement dans la partie non éclusée de la Tsna, en aval du barrage Tsinnsky (voir la carte, planche II).

Le réservoir Zavodsky, comme nous l'avons dit plus haut, est alimenté par les rivières Tsna et Chlina et l'affluent de cette dernière, la Granichna. La Tsna a une longueur de 159 verstes (148 kilom.); dans son cours

supérieur, la largeur et la profondeur de cette rivière sont insignifiantes ; à 50 verstes (52 kilomètres) en amont du réservoir, la largeur moyenne de la Tsna atteint à peu près 15 sagènes (52 mètres) et sa profondeur deux à trois archines (1 m. 42, — 2 m. 15) ; sa pente générale est de 15 sagènes (52 mètres). La Tsna reçoit 14 affluents dont le plus important est la Chlina : sa longueur est de 144 verstes (121 kilom. 62), sa largeur et sa profondeur sont quelque peu inférieures à celles de la Tsna. Le principal affluent de la Chlina est la Granichna, qui a une longueur de 44 verstes (47 kilomètres). Au moyen du barrage Chlinnsky qui est placé à la sortie de la Chlina du lac Chlino, les eaux de ce lac sont retenues et forment un vaste réservoir dont la superficie est d'à peu près 48 verstes carrées (54 kilomètres carrés) et qui renferme 6 millions de sagènes cubes (58 millions de mètres cubes). On ferme le barrage Chlinnsky, au printemps, immédiatement après la débâcle du lac Chlino, dont le niveau de retenue atteint une hauteur de 2 archines 14 verchoks (2 m. 04) au-dessus du seuil du barrage. Les eaux du réservoir Chlinnsky sont ordinairement conservées jusqu'à mi-juillet ou commencement d'août. A cette époque le réservoir Zavodsky commence déjà à s'épuiser, et c'est alors qu'on profite des réserves d'eau retenues par le barrage Chlinnsky. La crue de printemps dans le lac Chlino, dont les rives sont très plates, ne dépasse pas 1 sagène (2 m. 15) au-dessus du seuil du barrage Chlinnsky. Dans le lac Chlinnsky se jettent plusieurs rivières et ruisseaux dont quelques-uns ont au printemps un débit assez important.

Indépendamment du réservoir Zavodsky qui alimente le bief de partage du système fluvial Vychnévolotsky, il y en a encore d'autres pour l'alimentation des deux branches de ce système. A 65 verstes (61 kilomètres) de la ville de Vychni-Volstchok, se jette dans la Tvertsa le principal de ses affluents, l'Ossouga. A l'embouchure de cette rivière, on a construit un barrage en bois à quatre passes ; il retient les eaux de l'Ossouga et forme le réservoir Ossougsky, le seul qui existe sur la branche caspienne du système fluvial Vychnévolotsky. Le réservoir Ossougsky peut contenir jusqu'à 1 550 000 sagènes cubes (15 millions de mètres cubes) d'eau de réserve ; comme il est situé dans un terrain assez plat, la hauteur de la retenue ne peut dépasser 5 archines et trois quarts (4 m. 08) au-dessus du seuil du barrage ; un niveau plus élevé inonderait les environs. Au printemps, les eaux de crue de l'Ossouga sont très abondantes, et, comme la capacité du réservoir n'est pas suffisante pour les contenir, on ferme le barrage Ossougsky seulement après la baisse des eaux.

Pour l'alimentation des rivières qui font partie de la branche Baltique du système Vychnévolotsky, il existe plusieurs autres réservoirs. A une distance de 5 verstes du lac Mstino, se trouve le lac Béresky dont les eaux sont retenues par le barrage Bérézovsky. De là, les eaux passent par la petite rivière Radonuka dans le lac Mstino. On trouve ensuite, du côté gauche de la Msta, le réservoir Toubassky, formé par la retenue des eaux du

lac Toubasse. Ce dernier est fermé par le barrage Toubassky, construit à la sortie de la rivière Toubasska du lac Toubasse. Les deux réservoirs Bérézovsky et Toubassky fournissent ensemble à peu près 6 millions de sagènes cubes (58 millions de mètres cubes) d'eau d'alimentation.

Parmi les réservoirs secondaires qui alimentent le lac Mstino et la rivière Msta, il faut encore citer ceux qui sont formés par les lacs Yastehino, Poudor et Tichédro avec les barrages Roudnevsky, Poudorsky et Daubkovsky. Ces trois réservoirs se trouvent du côté droit de la Msta. Comme la rivière Roudnevka, qui réunit le lac Yastehino au lac Mstino et qui à sa sortie du lac Yastehino est fermée par le barrage Yastehinsky, présente un lit étroit et peu profond avec un débit lent et peu important, on a construit près de l'embouchure de la Roudnevka dans le lac Mstino, un second barrage, qui s'appelle Roudnevsky et forme un réservoir auxiliaire plus rapproché du lac Mstino. Il donne la possibilité de lancer à la fois de plus grandes quantités d'eau dans le lac. Le volume emmagasiné dans le lac Yastehino est de 5 millions de sagènes cubes (29 millions de mètres cubes).

Les lacs Tichédro et Poudor forment deux réservoirs superposés, réunis par la rivière Pouiéga qui sort du premier et se jette dans le second. A la sortie de la Pouiéga du lac Poudor, se trouve le barrage Poudorsky. Les eaux du lac Tichédro sont retenues par le barrage Doubkovsky, situé sur la petite rivière Doubkovka, qui n'a qu'une demi verste de longueur. La capacité des deux réservoirs Poudorsky et Doubkovsky ensemble est d'à peu près 7 millions de sagènes cubes (68 millions de mètres cubes).

A 55 verstes (58 kilom. 67) en aval du lac Mstino, la Msta reçoit l'affluent Bérézaï qui lui apporte les eaux de trois grands réservoirs : Kémetsky, Bérézaïsky et Valdaïsky. Le réservoir Kémetsky est formé par la retenue des eaux du lac Kaftino. La rivière Kemka qui prend son origine dans ce lac se jette dans le Bérézaï. Le lac Kaftino a 48 verstes (49 kilom. 20) de longueur ; sa largeur varie entre une demi-verste (0 kilom. 55) et 5 verstes (5 kilom. 20). Le lit de la Kemka, à sa sortie du lac, est fermé par le barrage Kémetsky. Le volume qui peut être retenu par ce barrage est d'à peu près 6 millions de sagènes cubes (58 millions de mètres cubes). L'utilité du réservoir Kémetsky pour l'alimentation de la Msta est sensiblement affaiblie par l'insuffisance de la section du lit de la Kemka qui a en même temps très peu de pente et des berges basses ; aussi, quand on fait passer beaucoup d'eau par le barrage Kémetsky, elle déborde, se répand dans la vallée plate de la Kemka, et n'atteint que tardivement le Bérézaï et la Msta : il en résulte que le réservoir Kemetsky ne peut fournir utilement que 50 000 sagènes cubes (485 400 mètres cubes) d'eau au plus par jour. Le niveau de la retenue du lac Kaftino s'élève à 5 archines 6 verchoks (2 m. 40) au-dessus du seuil du barrage Kémetsky. Il est construit en bois, comme d'ailleurs la plupart des barrages existants sur les lacs qui alimentent de leurs eaux la voie fluviale Vychuévolsky.

Le réservoir Bérézaïsky est formé au moyen des eaux du lac Pirosse, retenues par un barrage établi à l'endroit où la rivière Bérézaï sort de ce lac. Les fondations et les piles de cet ouvrage sont en maçonnerie; il comprend trois passes qui sont fermées par des vannes glissantes, appuyées contre des montants. Le lac Pirosse a 8 verstes et demie (9 kilom. 07) de longueur et sa largeur varie entre une verste et demie (1 kilom. 60) et 3 verstes (5 kilom. 20.) Le réservoir Bérézaïsky, dont la retenue atteint 4 sagènes et demie (5 m. 20) au-dessus des basses eaux du lac, peut contenir jusqu'à 7 millions et un quart de sagènes cubes (70 millions de mètres cubes) d'eau de réserve. Les crues de printemps du lac Pirosse sont très considérables, leur niveau s'élève à 1 sag. 67 (5 m. 56) au-dessus des basses eaux. La fermeture du barrage se fait graduellement à partir des premiers jours d'avril. Les eaux du réservoir Bérézaïsky sont d'une grande utilité pour l'alimentation de la Msta; les rapides de Borovitchi, situés sur cette rivière à 55 verstes (57 kilom. 55) en aval de l'embouchure du Bérézaï, ne peuvent être franchis par les bateaux qu'à l'aide de fortes émissions d'eau qui proviennent dudit réservoir et produisent des crues artificielles; de cette manière, on augmente sensiblement la profondeur qui est insuffisante sur les hauts fonds et les roches submergées dans les rapides. Le lit du Bérézaï est assez large et profond pour laisser passer rapidement de grandes quantités d'eau. La distance entre le lac Pirosse et l'embouchure du Bérézaï dans la Msta est de 50 verstes (52 kilom.).

Les principaux affluents du lac Pirosse sont la Valdaïka et la partie supérieure du Bérézaï qui prend son origine dans le lac du même nom et reçoit divers affluents dont plusieurs, à leur tour, sortent aussi des lacs, ce qui augmente sensiblement le débit du Bérézaï. Au printemps, pendant les hautes eaux, quelques bateaux parcourent le Bérézaï depuis le barrage jusqu'à son embouchure dans la Msta, et de là ils continuent leur voyage en aval. En amont du lac Pirosse, le Bérézaï est seulement flottable.

Le réservoir Valdaïsky est formé par la retenue des eaux des lacs Valdaï et Oujino à l'aide du barrage Valdaïsky qui est établi à la sortie de la rivière Valdaïka du lac Valdaï. La longueur de la Valdaïka, entre les lacs Valdaï et Pirosse, est de 43 verstes (45 kilom. 87). La longueur du lac Valdaï est de 8 verstes et demie (9 kilom. 07); sa largeur varie entre 1 et 5 verstes (1 kilom. 07, 5 kilom. 55); sa profondeur est considérable, elle atteint en quelques endroits 90 sagènes (192 mètres). Les rives du lac sont élevées. Le barrage Valdaïsky est fermé au printemps dès le commencement de la fonte des neiges. La hauteur de la retenue est de 1 sagène (2 m. 15) au-dessus du niveau des basses eaux des lacs Valdaï et Oujino. Le volume d'eau emmagasiné qui peut être utilisé pour l'alimentation du réservoir Bérézaïsky et de la Msta est d'à peu près 5 millions de sagènes cubes (29 millions de mètres cubes). On ouvre le barrage Valdaïsky après l'épuisement du réservoir Bérézaïsky.

Le dernier des réservoirs d'alimentation de la Msta est le réservoir

Ouversky. Il est formé par la retenue des eaux de la rivière Ouvère, qui se jette dans la Msta du côté droit, à 60 verstes en aval du lac Mstino. Le barrage Ouversky, qui ferme le réservoir, est situé à 7 verstes (7 kilom. 47) de l'embouchure de l'Ouvère, dans la Msta. Les hautes eaux de printemps sont très abondantes, et s'élèvent dans le réservoir jusqu'à 2 sagènes et demie (5 m. 55) au-dessus du niveau des basses eaux. Habituellement le barrage Ouversky se ferme avant la fin du mois d'avril ou même le commencement du mois de mai. Le niveau de la retenue s'élève à 1 sag. 92 (4 m. 10) au-dessus du seuil du barrage. La capacité du réservoir est de 8 millions et demi de sagènes cubes (82 millions de mètres cubes). Le barrage Ouversky est en bois; il a 5 passes de 5 sagènes (10 m. 67) de largeur chacune. Le mode de construction de cet ouvrage est à peu près le même que celui du barrage inférieur Zavodsky. Actuellement le réservoir Ouversky ne fonctionne pas; le barrage a été fortement endommagé par les eaux, et sa reconstruction n'est pas encore terminée.

La capacité de tous les réservoirs réunis du système fluvial Vychnévolotsky est de plus de 60 millions de sagènes cubes (585 millions de mètres cubes). Grâce à cette puissante réserve, ledit système fluvial, n'ayant que deux sections à écluses, savoir : 1° les canaux Tvéretsky et Tsninsky, et 2° la partie inférieure de la Tsna et le lac Mstino, a pu servir comme principale voie de communication entre le Volga et la ville de Saint-Petersbourg, depuis le commencement du siècle passé jusqu'à la moitié de ce siècle.

Sur quelques-unes des autres voies navigables artificielles de la Russie, il existe aussi des réservoirs qui servent à l'alimentation des biefs de partage : sur le système fluvial Marie, le réservoir Kovjsky; sur le système Fikhvinnsky, les réservoirs Piatunsky et Dolgomostchennsky; sur le canal du Dniéper au Boug, les réservoirs Biélozersky et Orékhovsky. Tous ces réservoirs sont également formés par des lacs dont les eaux sont retenues au moyen de barrages en bois. Seulement les réservoirs, ainsi que les barrages, sont de dimensions moindres que celles des principaux ouvrages du système Vychnévolotsky, ou que celles du réservoir et du barrage Verkhnévoljsky, sur le haut Volga. Le canal éclusé Pierre le Grand, qui réunit l'embouchure du Volkhoff et l'issue de la Néva du lac Ladoga, est en outre alimenté par quelques petits réservoirs dans lesquels s'accablent les eaux provenant de la fonte des neiges et des pluies, retenues, tout comme dans les réservoirs décrits plus haut, par des *barrages en bois*.

Ce qui a été dit sur les réservoirs en Russie peut être résumé comme suit :

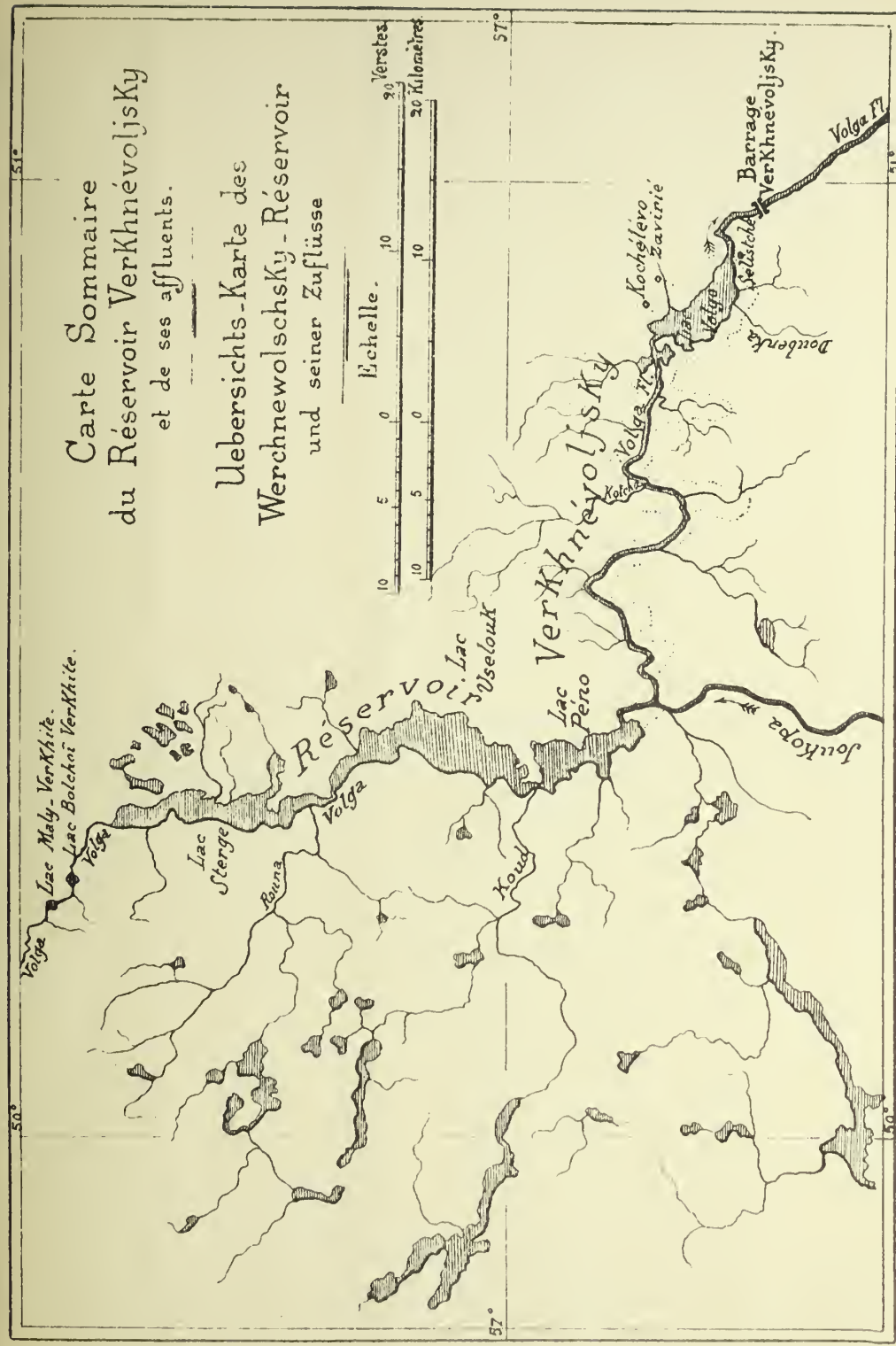
Les principaux réservoirs établis en Russie servent avant tout à l'alimentation de fleuves et rivières à courant libre, notamment du Haut-Volga, de la Tvertsa et de la Msta.

La plupart de ces ouvrages datent d'un temps assez reculé, du siècle passé ou de la première moitié de ce siècle.

Les barrages formant la retenue des réservoirs ont pour la plupart des fondations et des piles en bois; il n'y a que deux barrages — Zavodsky supérieur et Bérézaïsky, — dont les parties fixes sont en maçonnerie. La fermeture des passes se fait à l'aide de montants et de vannes glissantes en bois. La hauteur de la retenue des barrages ne dépasse guère 2 sagènes et demie (5 m. 55) au-dessus du seuil.

Le volume maximum emmagasiné dans un réservoir est de 40 millions de sagènes cubes (597 millions de mètres cubes).

St-Petersbourg, mars 1892.



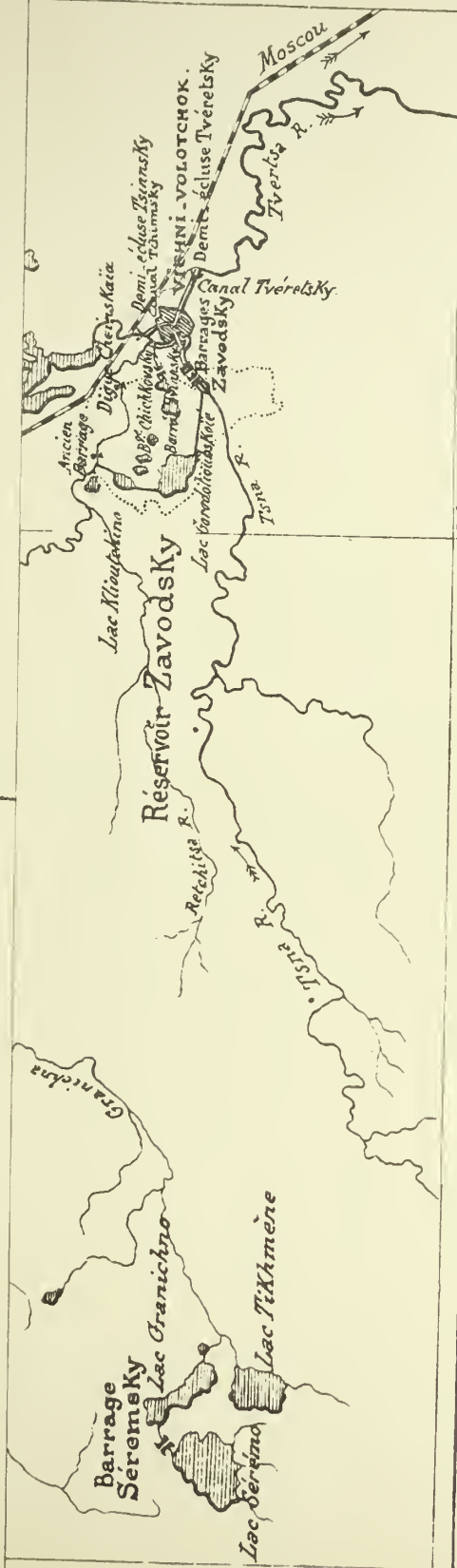
de Hoerschelmann.

E. F.

Carte Sommaire

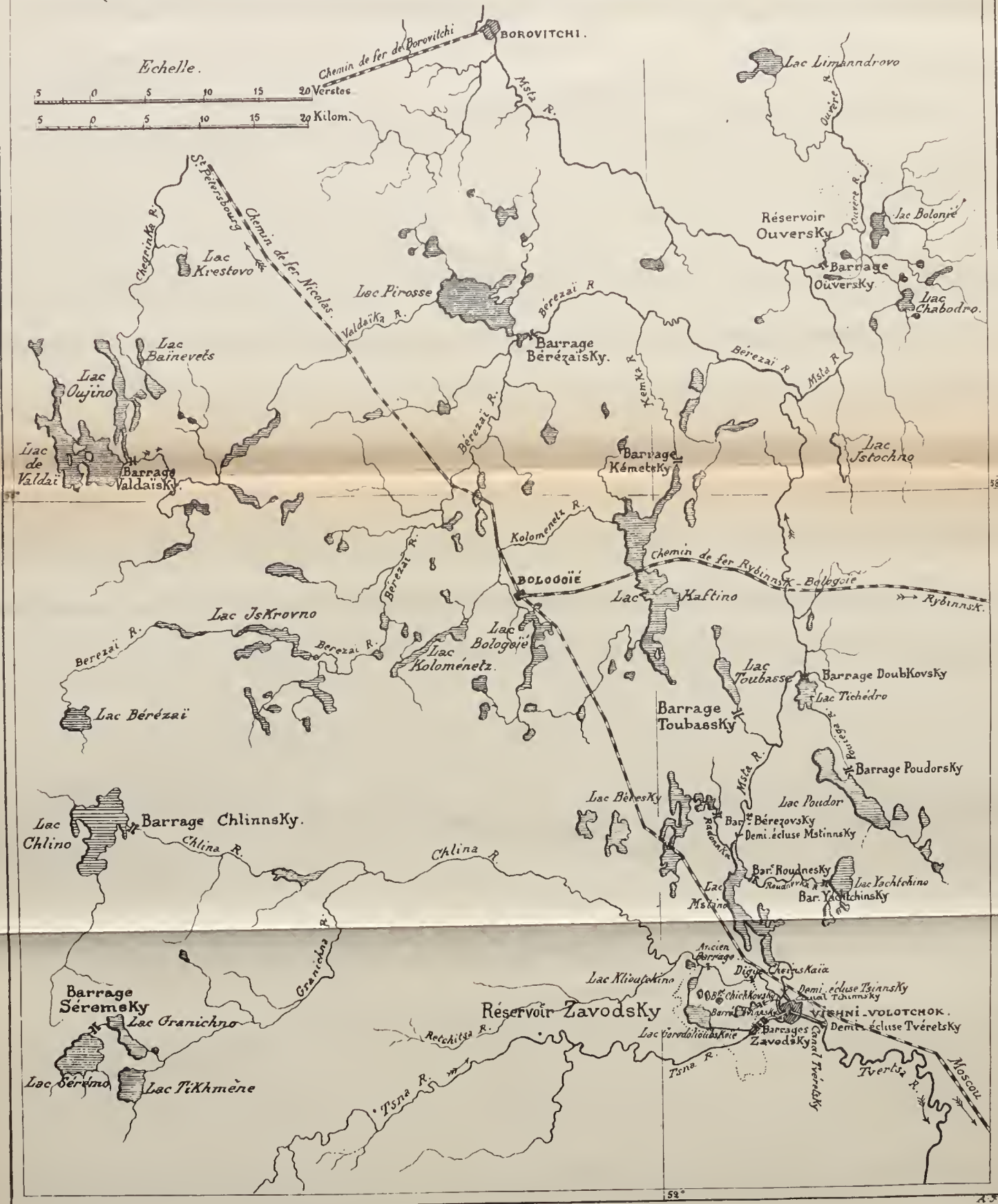
des réservoirs d'alimentation du Système fluvial Vychnevolotsky.

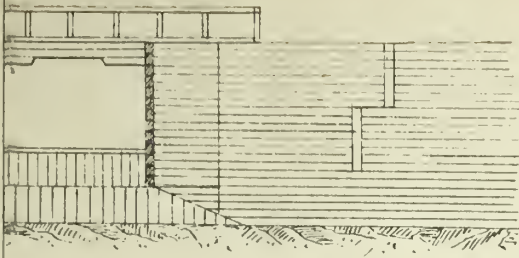
(Übersichts.Karte der Speisungs.Réservoirs des Wyschnewolotsky Canal-Systems).



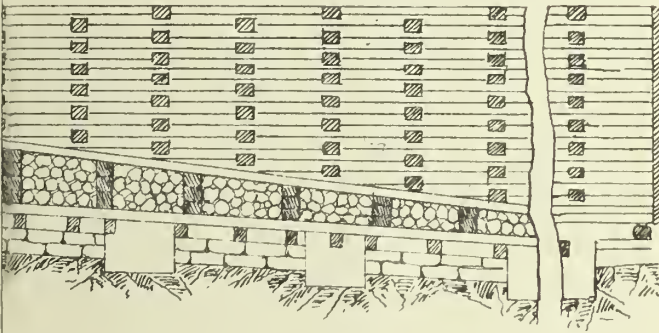
de Haerschmann.

Carte Sommaire des réservoirs d'alimentation du Système fluvial Vychnevolotsky. (Übersichts.Karte der Speisungs.Réservoirs des Wyschnewolotsky Canal Systems).

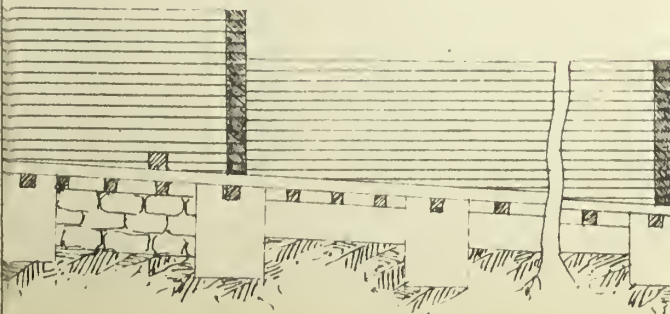


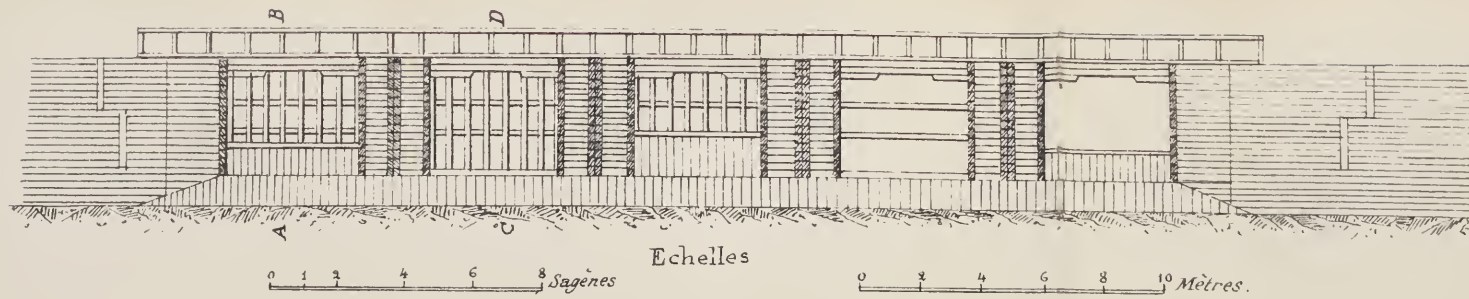
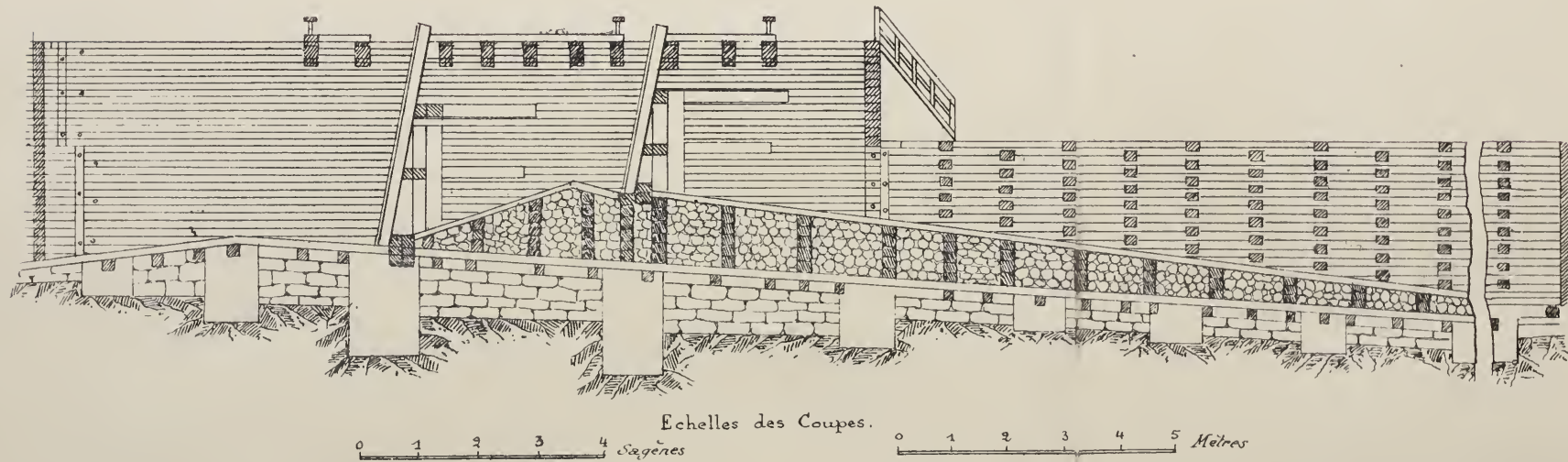
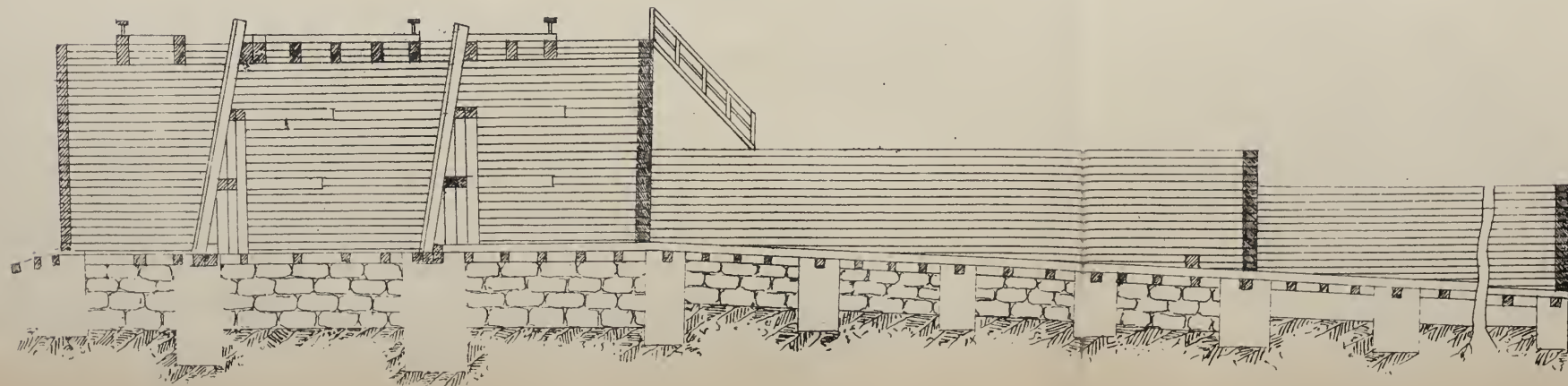


8 10 Mètres.



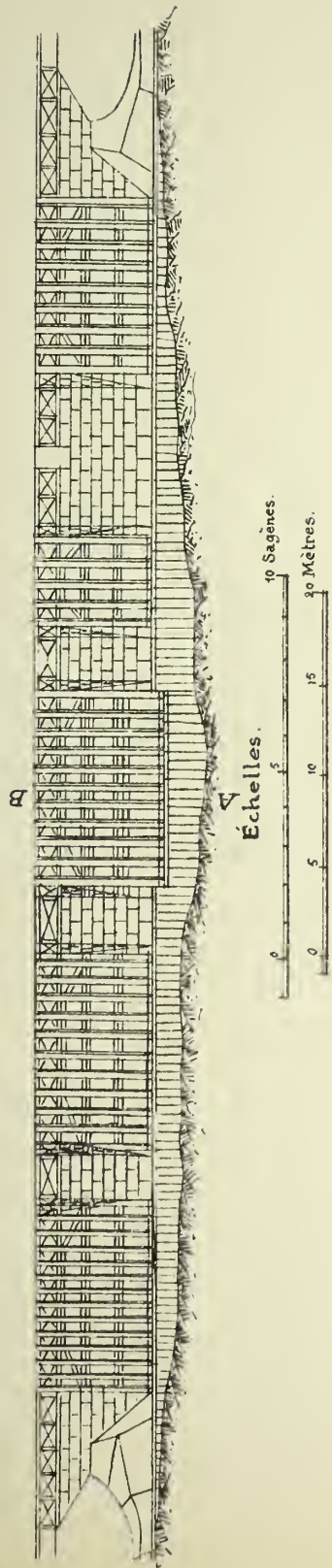
4 5 Mètres



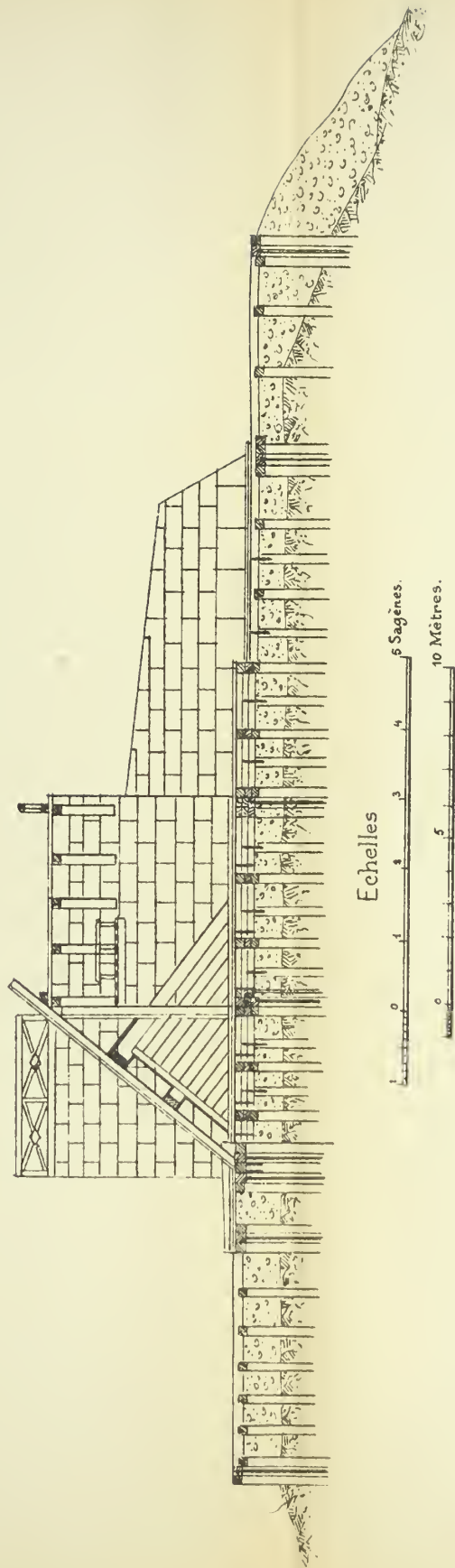
Elevation d'amont.*Coupe suivant AB.**Coupe suivant CD.*

BARRAGE ZAVODSKY-SUPÉRIEUR

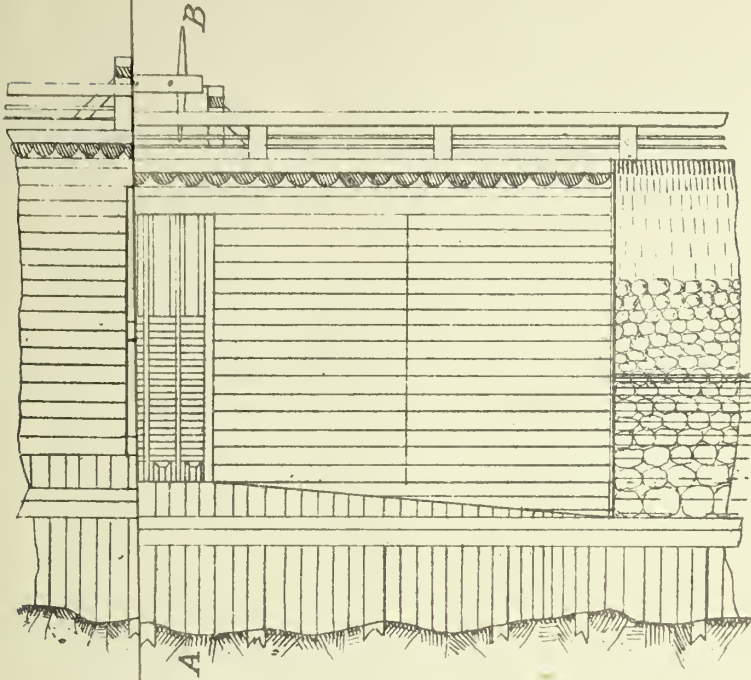
Élévation d'amont.



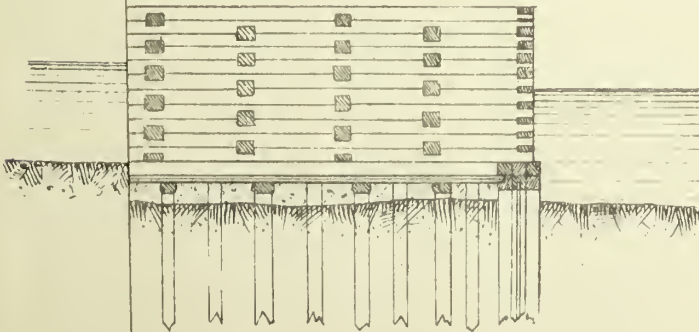
Coupe transversale suivant AB.



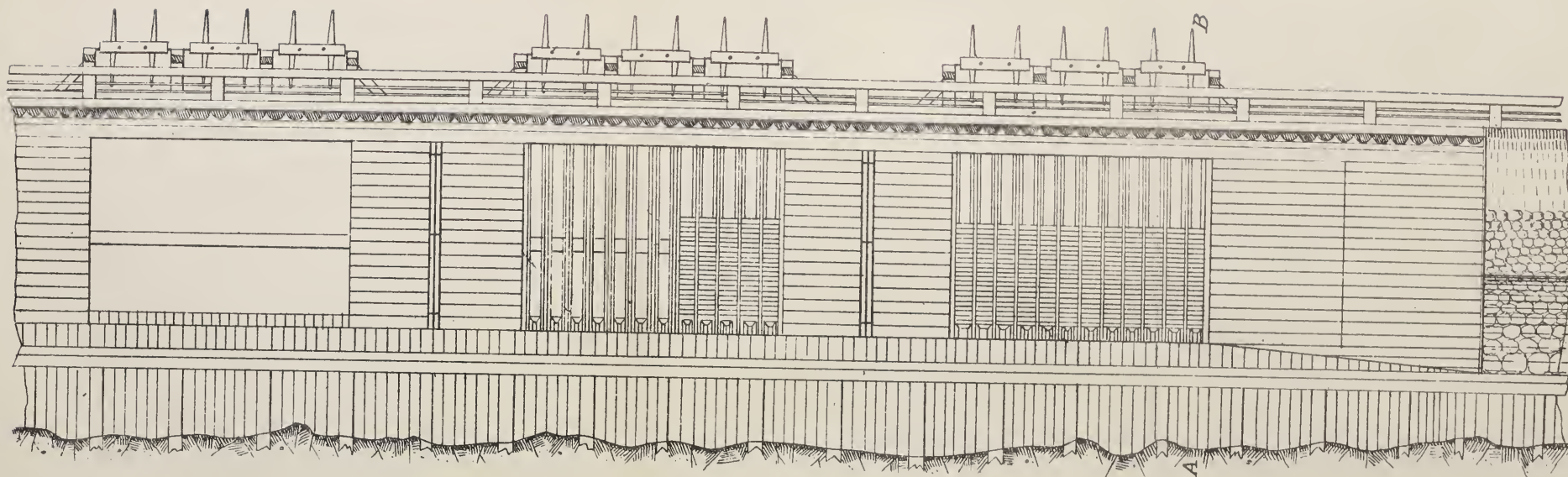
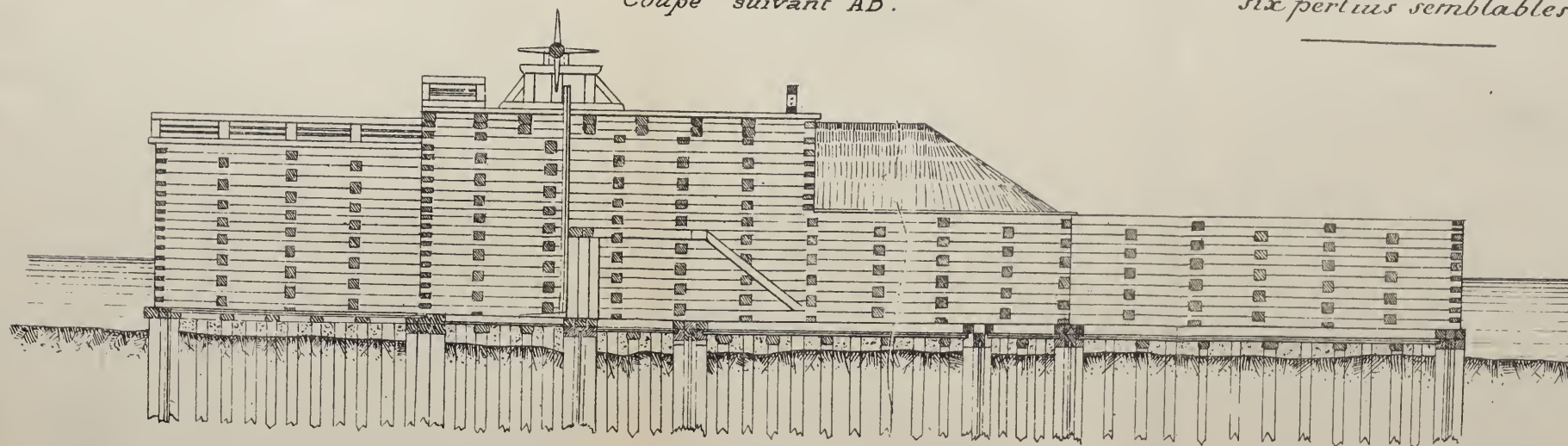
THE
LIBRARY OF THE
MUSEUM OF NATURAL HISTORY
NEW YORK



*Le barrage comporte
six pertuis semblables*

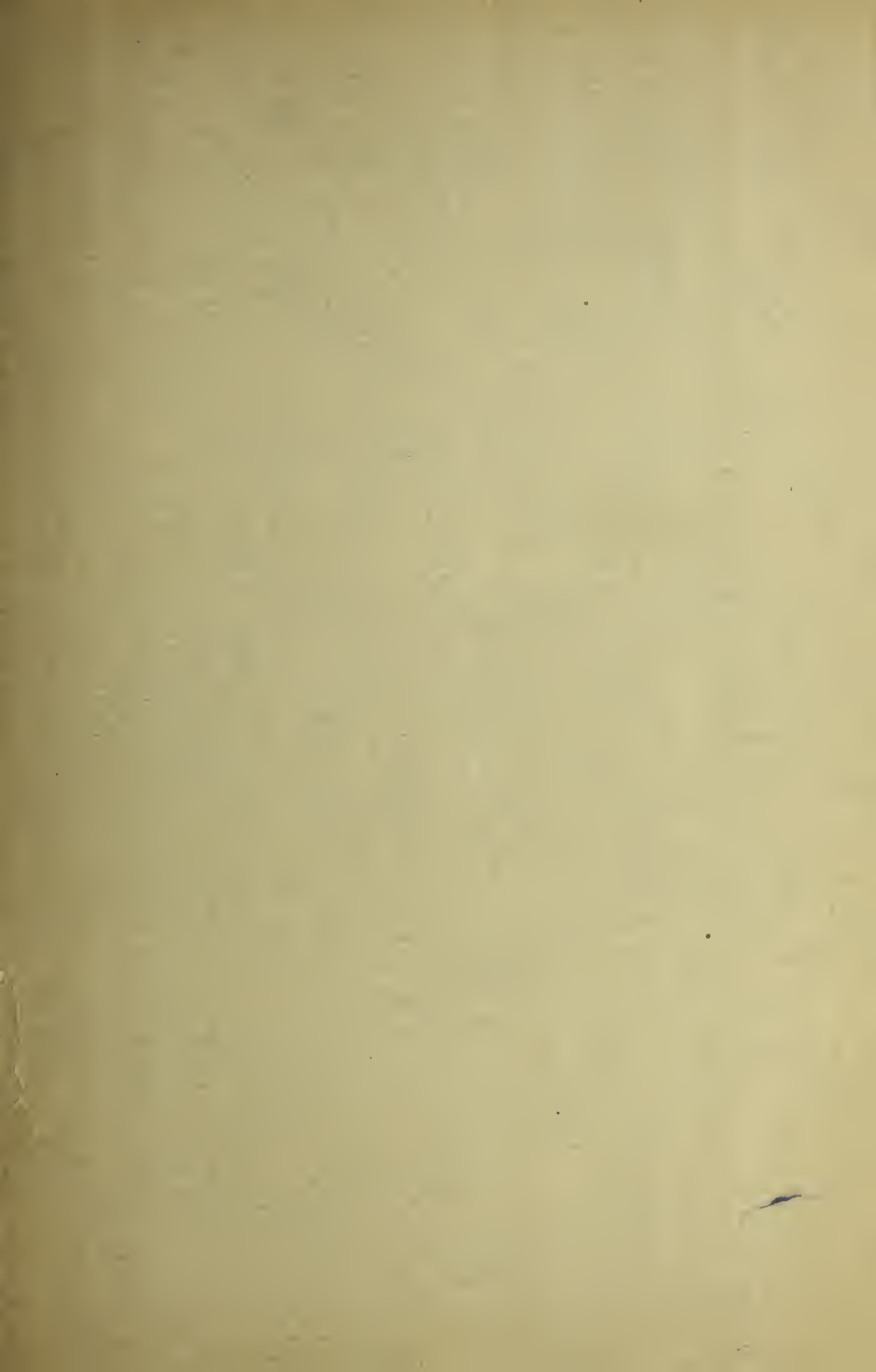


BARRAGE ZAVODSKY INFÉRIEUR.

Demi-Élévation d'amont.*Coupe suivant AB.**Le barrage comporte
six pertuis semblables**Echelles.*

6 Sagènes

20 Mètres.



THE IMPROVED COLUMBIAN CLASP No. 70

PAT. JAN. 7, '10

THE UNITED STATES ENVELOPE CO., SPRINGFIELD, MASS.

BULLETIN
UNIVERSITY OF ILLINOIS
URBANA, ILLINOIS

If not delivered, notify Exchange Division
University of Illinois Library, Urbana, Illinois
Return postage guaranteed

Entered at the Post Office, Urbana, Ill., as second class matter

Paris 1892.

V. internationaler Binnen-
schiffahrts-Congress.

V. congrés international
de navigation intérieure.

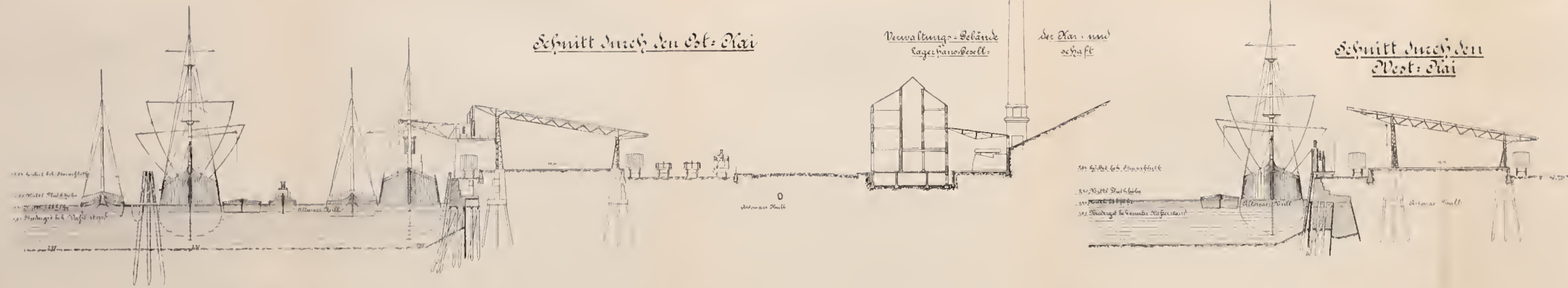
Altona a. d. Elbe.

Der Handels-Hafen.

Le port de commerce.

Commercial port.

Коммерческій Гавань.



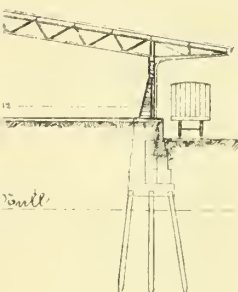
Altonaer Hafen-Anlagen.

1892.

Lageplan



h den
ai



FIFTH INTERNATIONAL CONGRESS
ON
INLAND NAVIGATION
PARIS — 1892

Works of the Congress Programme

1st Question. — CONSOLIDATION OF CANAL BANKS.

Means employed for consolidating Canal Banks in view of navigation at high speed. Results obtained. Cost. Influence of the width of waterways.

2^d Question. — WATER SUPPLY OF CANALS.

This question of water supply is one of the most important and difficult in the construction of canals. It has however never been examined in any preceding Congress. The following programme is proposed for its study :

Water consumption in Canals. Its different elements. Variations of it with increase of depth.

Different methods for procuring feeding resources : Springs, brooks, perennial sources, reservoirs, elevatory machinery. Cost of water per cubic metre. Advantages and disadvantages of each of the methods.

3^d Question. — LEAKAGE IN CANALS.

The greater or lesser consumption of water in canals depends of course greatly on their water-tightness, and the methods of reducing leakages are closely connected with the questions of water supply. It is proposed to study this question according to the following programme :

Different means of rendering Canals water-tight; with sand, clay, layers of puddle clay, concrete. Cost of each method; their efficacy, advantages and disadvantages.

4th Question. — RESERVOIRS.

Reservoirs are the most important engineering works for the water supply of canals. They are not only built for navigation purposes, but also for the diminishing of floods, water supply of towns, developing of irrigation. Whatever may be

the purpose of these works, they do not vary. This question is therefore to be treated from a general point of view and without taking any account of the motive for which the reservoir is built. To this effect the following programme is proposed :

Different types of reservoirs, their mode of construction with dams of earth or masonry. Height and section of same. Foundations. Proceedings of their execution. Accessory works such as bye-washes, outlet sluices, pond-plugs.

Technical and administrative conditions special to reservoirs having a mixed destination. Advantages and disadvantages of using the same reservoir for the supply of canals, irrigations, and factories.

5th Question. — STOPPAGES (“CHÔMAGES”) ON CANALS AND CANALISED RIVERS

The following programme is proposed :

Obligated stoppages for the maintenance of canals and rivers in their present condition.

Usual period and duration of these stoppages. Circumstances on which these dates depend. Difficulty of filling reaches. Necessary supply of certain markets. Active periods of navigation.

Simultaneous or successive stoppages. Would it be possible to establish uniformity among the stoppages on all the waterways of the same district; if not, on what principles are the successive stoppages to be based?

What technical or administrative means should be employed to reduce as much as possible the duration of stoppages?

6th Question. — 1st TRACTION ON CANALS. — 2^d TRACTION ON CANALISED RIVERS.

5^d TRACTION ON FREE RIVERS.

In the preceeding Congresses the traction question has given rise to reports and discussions of great interest, however without attaining any definite agreement. In order to advance studies of such capital importance, it would be useful to obtain the greatest quantity of exact and precise information on the different existing systems of traction and their results.

Whatever the instrument of traction, it must necessarily be adapted to the conditions of the waterway on which it is employed, and these conditions may be divided into three categories, viz : technical, working and administrative conditions.

The traction problem assumes a [quite different aspect if it applies to canals or rivers, and therefore this study must be divided into three distinct questions.

1st Canals,

2^d Canalised Rivers,

3^d Free Rivers.

It being understood that each question is to be treated distinctly, the following programme is proposed :

Different systems of traction used on the considered waterway and relation between the traction system and the conditions of the said waterway :

1st *Technical conditions; dimensions of the waterway, section, depth, state of banks, currents, floods, stoppages, floating plant, etc. In what circumstances and between what limits the water supply for irrigation or factories may be allowed through canals. The question to be examined from a technical and financial point of view.*

2^d *Working conditions : the traction plant is or is not in the same hands as the transport plant and the waterway; the dock accommodation, the lost days either as lay-days or for any other reason, the connection with neighbouring transport lines, etc., to be taken into account.*

3^d *Administrative conditions; the police regulations and acts of concession sometimes impose conditions having a reactive effect on the traction system.*

Data on realized economical results.

The study of certain proposed systems, but not yet applied, might also be of great interest.

7th Question. — TOLL AND FEES ON WATERWAYS.

In some countries the use of waterways is entirely gratuitous, in others a tax is levied. Whatever the conditions under which waterways are placed, the present question occupies public opinion; and at the Congress of Frankfort it was asked to be put on the order of debates. The representatives of the principal states are therefore requested to give all useful information on the following points :

Taxes or tolls levied for the profit of Government on all waterways administered by it. Definition of the nature of these tolls. Are they but a tax, like any other tax on carriage, levied for the general benefit of the budget? Or is the amount of these tolls applied especially to the maintenance or improvement of waterways, or execution of new works?

What is the rate of these tolls and how are they collected?

Is there a special tax for the day or night working of locks, weirs, swing-bridges etc...?

What are the reasons justifying the maintenance or suppression of these taxes in countries where they exist?

8th Question. — CONDITIONS OF INLAND NAVIGATION PORTS.

The question of Inland Navigation ports is closely connected with that of the use of waterways, but must however be considered distinctly. It is consequently proposed that information be given concerning principal countries on the following points :

Conditions under which Inland Navigation ports are placed with regard to construction, maintenance and working. Of what does their dock accommodation consist? Under what conditions may this accommodation be used by the public? Connection of inland ports with railways by branch lines.

9th **Question.** — RESPECTIVE USES OF WATERWAYS AND RAILWAYS
IN REGARD TO TRANSPORTATION.

The question of the rivalry or cooperation of waterways and railways has been discussed in each of the preceeding Congresses, but always on very general lines : a greater preciseness is to be desired and authors are requested to give as many examples and figures as possible, justifying the conclusions arrived at. The following programme is proposed :

To give an exact definition of the respective uses of waterways and railways with respect to transports. To show the traffic that belongs to each. To examine the circumstances in which they help each other and those in which they rival. To make a distinction between parallel and perpendicular ways. Consequences of the juxtaposition of these two ways with respect to railroads particularly and to the interests of the district they supply.

10th **Question.** — IMPROVEMENT OF TIDAL RIVERS INCLUDING THEIR ESTUARIES.

As the practical study of the best methods for improving tidal rivers depends entirely on a more and more exact knowledge of facts appertaining thereto, engineers are requested to give, in the simplest and clearest form possible, all facts that have come under their own observation. They are also begged to conform as far as possible to the following programme, which is simply suggested and may therefore be modified, completed or reduced.

Up-stream regime, fresh water discharge in low-waters, ordinary waters and floods. Nature and importance of alluvial matters carried, tidal regime, neighbouring sea chart, winds, currents. Nature and importance of tidal sediments. Plans of the river, longitudinal and transversal sections. Nature of the banks, bars and shoals, their movements. Regime of the tides and currents in the river. Tidal waters discharge. Works executed, banks regulation, training walls, dredging. What improvement have these works caused on the regime of the river and its conditions of navigability?

V^{ÈME} CONGRÈS INTERNATIONAL
DE
NAVIGATION INTÉRIEURE
TENU A PARIS EN 1892
SOUS LE HAUT PATRONAGE
DE
M. CARNOT
PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PRÉSIDENTS D'HONNEUR

- M. le MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.
M. le MINISTRE DE LA MARINE ET DES COLONIES.
M. le MINISTRE DE L'AGRICULTURE.
M. le MINISTRE DU COMMERCE ET DE L'INDUSTRIE.

COMITÉ DE PATRONAGE

- MM. BERTHELOT, Sénateur, Membre de l'Institut, Président de la Société Nationale d'Agriculture de France.
CUVINOT, Sénateur.
DÉPREZ (A.), Sénateur, Président de la Chambre de Commerce de Béthune.
KRANTZ, Sénateur.
POIRRIER, Sénateur, ancien Président de la Chambre de Commerce de Paris.
AYNARD, Député, Président de la Chambre de Commerce de Lyon.
DELUNS-MONTAUD, Député, Rapporteur de la Commission parlementaire des voies navigables, ancien Ministre des Travaux Publics.
FÉLIX FAURE, Député, ancien Sous-Secrétaire d'État au Ministère de la Marine et des Colonies.
OUVRÉ, Député, Président d'honneur de la Chambre Syndicale du Commerce des bois à brûler.
le Baron REILLE, Député, Président du Comité des Forges de France.
YVES GUYOT, Député, ancien Ministre des Travaux Publics.
PÉAN, Président du Conseil Général de la Seine.
SAUTON, Président du Conseil Municipal de Paris.
BERNARD (ÉMILE), Inspecteur Général des Ponts et Chaussées, Vice-Président de la Commission de l'Hydraulique Agricole au Ministère de l'Agriculture.
BUQUET, Président de la Société des Ingénieurs civils.
DARCY, Président du Comité Central des Houillères de France.

MM. GUILLAIN, Conseiller d'État, Directeur de la Navigation au Ministère des Travaux Publics.
JOSSEAU, ancien Député, ancien Président de la Société Nationale d'Agriculture de France.
le Colonel LAUSSEDA, Directeur du Conservatoire national des Arts et Métiers.
LEBLANC, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées, Vice-Président du Conseil Général des Ponts et Chaussées, ancien Directeur de la Navigation au Ministère des Travaux Publics.
PHILIPPE, Conseiller d'État, Directeur de l'Hydraulique Agricole au Ministère de l'Agriculture.
PICARD, Président de la Section des Travaux Publics au Conseil d'État, Directeur général honoraire des Ponts et Chaussées, des Mines et des Chemins de fer.
ROUSSEAU (ARMAND), Conseiller d'État, ancien Sous-Secrétaire d'État aux Ministères des Travaux Publics et de la Marine et des Colonies, ancien Directeur de la Navigation au Ministère des Travaux Publics.
VOISIN-BEY, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées en retraite, ancien Président de la Délégation du Ministère des Travaux Publics aux Congrès Internationaux de Navigation Intérieure de Vienne, de Francfort-sur-le-Mein et de Manchester.
Le PRÉSIDENT du Comité des Houillères du Nord et du Pas-de-Calais

BACOT (L.), Président de la Chambre de Commerce de Sedan.
BRUNET (H.), Président de la Chambre de Commerce de Bordeaux.
CHAMUSSY, Président de la Chambre de Commerce de Mâcon.
COULON (MARIUS), Président de la Chambre de Commerce de Cette.
COURTOIS DE VIÇOSE, Président de la Chambre de Commerce de Toulouse.
DARGUER, Président de la Chambre de Commerce de Calais.
DELAME, Président de la Chambre de Commerce de Valenciennes.
DUC (MARIUS), Vice-Président de la Chambre de Commerce de Lyon.
DUCHEMIN, Président de la Chambre de Commerce de Rouen.
DUPUIS, Président de la Chambre de Commerce de Bourges.
DUPONT (A.), Président de la Chambre de Commerce de Beauvais.
GAULIN-DUNOYER, Président de la Chambre de Commerce de Dijon.
GÉRAUD (A.), Président de la Chambre de Commerce de Marseille.
GIVORS (E.), Président de la Chambre de Commerce de Saint-Dizier.
LATHAM, Président de la Chambre de Commerce du Havre.
LE BLAN (J.), Président de la Chambre de Commerce de Lille.
MARIOLLE-PINGUET, Président de la Chambre de Commerce de Saint-Quentin.
MATHON (H.), Président de la Chambre de Commerce de Roubaix.
MÉRISSE, Président de la Chambre de Commerce de Saint-Nazaire.
MIELLEY (E.), Président de la Chambre de Commerce d'Armentières.
MURATIER-SERDON, Président de la Chambre de Commerce de Chalon-sur-Saône.
PETYT, Président de la Chambre de Commerce de Dunkerque.
RIVRON, Président de la Chambre de Commerce de Nantes.
ROGÉ, Président de la Chambre de Commerce de Nancy.
SCULFORT, Président de la Chambre de Commerce d'Avesnes.
WALBAUM, Président de la Chambre de Commerce de Reims.

PATRONAGES ÉTRANGERS

La Commission d'Organisation n'ayant pas encore reçu toutes les réponses à ses invitations, la liste des patronages étrangers fera l'objet d'un envoi ultérieur.

Paris, le 12 Mars 1892

COMMISSION D'ORGANISATION (*)

PRÉSIDENTS :

MM. COUSTÉ, Président de la Chambre de Commerce de Paris.
GUILLEMAIN, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

VICE-PRÉSIDENTS :

MM. BOUVIER, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, détaché au Ministère de l'Agriculture.
FARGUE, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.
HÉLARD, Vice-Président de la Chambre de Commerce de Paris.
MOLINOS, Ingénieur civil, à Paris.
NICOLAS, Conseiller d'État, Directeur du Commerce intérieur au Ministère du Commerce.

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL :

M. DE MAS, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Paris.

SECRÉTAIRES :

MM. CAPTIER, Secrétaire de la Chambre Syndicale de la Marine, à Paris.
FLAMANT, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Paris.
HIRSCH, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Paris.
LAINEY, Membre de la Chambre de Commerce de Paris.

MEMBRES FRANÇAIS :

MM. D'ARTOIS DE BOURNONVILLE, Président de la Chambre Syndicale de la Marine, à Paris.
BEAURIN-GRESSIER, Chef de la Division de la Navigation au Ministère des Travaux Publics.
BERNARD (MARTIAL), Secrétaire de la Chambre de Commerce de Paris.
BOULÉ, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.
CAMÉRE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Paris.
CARIMANTRAND, Directeur de la Compagnie de Touage de la Basse-Seine, à Paris.
CARLIER, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.
COTARD, Ingénieur civil, à Paris.
COUVREUR, Membre de la Chambre de Commerce de Paris, Président du Syndicat du bassin de la Villette.
DEHAYNIN (F.), Trésorier de la Chambre de Commerce de Paris.
DELAUNAY-BELLEVILLE, Membre de la Chambre de Commerce de Paris, Ingénieur-Constructeur.
FLEURY (J.), Ingénieur civil, à Paris.
HOLTZ, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.
LAROCHE, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.
LASMOLLES, Directeur de la Compagnie de Touage de la Haute-Seine, à Paris.
LEFEBVRE (U.), Vice-Président du Syndicat de la Marine, à Paris.
LIÉBAUT, Ingénieur, Membre du Comité consultatif des Arts et Manufactures, à Paris.
LOURDELET, Membre de la Chambre de Commerce de Paris.
MAËS, Membre de la Chambre de Commerce de Paris.
MENGIN, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.
NOBLEMAIRE, Membre de la Chambre de Commerce de Paris, Directeur de la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.
POINCARÉ, Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, attaché au Ministère de l'Agriculture.
PONTZEN, Ingénieur civil, à Paris.
le Baron QUINETTE DE ROCHEMONT, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.
RABEL, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Paris.
ROBERT-MITCHELL, Député, Président de la Compagnie de Navigation du Havre à Paris et à Lyon.
SUILLIOT, Membre de la Chambre de Commerce de Paris.
WAY, Membre de la Chambre de Commerce de Paris, Président du Syndicat des grains, graines, farines et huiles.

(*) La Commission d'Organisation comprend les cinq Comités ci-après :

Comité d'Administration : *Président*, M. HÉLARD ; *Secrétaire*, M. DE MAS.

Comité des Finances : *Président*, M. F. DEHAYNIN ; *Secrétaire*, M. CAPTIER ; *Trésorier*, M. MAËS.

Comité Technique et de Rédaction : *Président*, M. HOLTZ ; *Secrétaire*, M. FLAMANT.

Comité des Excursions et Réceptions : *Président*, M. Martial BERNARD ; *Secrétaire*, M. LAINEY.

Comité de l'Exposition : *Président*, M. FARGUE ; *Secrétaire*, M. HIRSCH.

DÉLÉGUÉS ÉTRANGERS :

- ALLEMAGNE . . . MM. FRANZIUS, Directeur général des travaux, à Brême.
HONSELL, Directeur des Travaux Publics du Grand-Duché de Bade, à Karlsruhe.
PESCHECK, Ingénieur en chef, Conseiller de Gouvernement, à Francfort-sur-l'Oder.
- AUTRICHE . . . MM. FÄNNER (GOTTLIEB), Conseiller supérieur, Directeur général des travaux à la Commission de régularisation du Danube, à Vienne.
le Dr VICTOR RUSS, Député, Président de la Société autrichienne de Navigation de l'Elbe, à Vienne.
- BELGIQUE . . . MM. DE RAEVE, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, à Bruxelles.
DUFOURNY, Ingénieur principal des Ponts et Chaussées, à Bruxelles.
- GRANDE-BRETAGNE.. MM. COURTENAY-BOYLE, Esq., C. B., Secrétaire assistant du Board of Trade au département des chemins de fer, à Londres.
JENKINSON (Sir EDWARD G.) K. C. B., à Richmond (Surrey).
LEE (Sir JOSEPH C.) K. T., à Manchester.
- HOLLANDE . . . MM. CONRAD, Inspecteur général du Waterstaat, à la Haye.
A. DEKING DURA, Ingénieur en chef, à Zwolle (Over-Yssel).
- HONGRIE . . . M. COLOMAN DE KENESSEY, Inspecteur supérieur de l'Inspection générale Hongroise des Chemins de fer et de la Navigation, à Budapest.
- ITALIE . . . MM. le Commandeur G. BOMPIANI, Président du Conseil des Travaux Publics, à Rome.
le Chevalier LUIGI LUIGGI, Ingénieur du Génie civil, à Gênes.
- NORVÈGE . . . M. SAETREN, Chef de l'Administration royale des Canaux de Norvège, à Christiania.
- RUSSIE . . . MM. RAFFALOWICZ, Conseiller d'État Actuel, Agent du Ministère des Finances de Russie, Correspondant de l'Institut de France, à Paris.
FLORINE, Conseiller d'État Actuel, Inspecteur de la Navigation au Ministère des Voies de communication, à Saint-Petersbourg.
WILKEN, Ingénieur, Chef de bureau au Ministère des Voies de communication, à Saint-Petersbourg.
DE HËRSCHIELMANN, Ingénieur, Chef de bureau au Ministère des Voies de communication, à Saint-Petersbourg.
DE TIMONOFF, Professeur-adjoint à l'Institut des Ingénieurs, Ingénieur de la Direction des Ports, à Saint-Petersbourg.
DE SYTENKO, Rédacteur en chef du *Journal des Voies de communication*, à Saint-Petersbourg.
- SUÈDE . . . M. le Colonel RICHERT, Chef de l'Administration royale des Ponts et Chaussées, à Stockholm.
- SUISSE . . . M. DE MORLOT, Inspecteur en chef des Travaux Publics de la Confédération Suisse, à Berne.

BANQUIERS :

MM. CLAUDE-LAFONTAINE, MARTINET et C^{ie}, à Paris.

SECRÉTAIRES-ADJOINTS :

MM. DE BREVANS, Secrétaire de la Bourse de Commerce de Paris.
JAVARY, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Paris.
MARTIN, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Paris.

FIFTH INTERNATIONAL CONGRESS
ON
INLAND NAVIGATION
PARIS — 1892

Statutes

ART. 1.

According to the resolution taken by the International Congress on Inland Navigation held at Manchester in 1890 in its closing sitting, and as a consequence of the Congresses held at Frankfort-on-Maine in 1888, at Vienna in 1886 and at Brussels in 1885, an International Congress on Inland Navigation is to be held at Paris in 1892.

It will be opened on Thursday, 21th of July 1892, in the Palais de l'Industrie, (Champs-Élysées), and will last ten days.

ART. 2.

The object of the Congress is the study of all questions of a general nature relating to river and canal navigation.

ART. 3.

To be members :

1st The delegates of the French and Foreign Governments.

2^d Persons appointed to this effect by Chambers of Commerce, Navigation C^o, Towing C^o, Railways and any other Transport C^o or Technical, Scientific and Industrial Societies.

3^d All persons who claim to be inscribed on the Register of the Secretary of the Organizing Committee either before or during the session.

ART. 4.

The inscribing of any person on the list of the members of Congress implies their consent to the present statutes.

All members at once with their inscription have to pay a subscription of 25 frs. (20 shillings).

Each member receives an intransferable card conferring on him the right of assisting at the sittings and taking part in the excursions. The expenses of the latter are not covered by the subscription.

ART. 5.

The programme of the questions to be submitted to the deliberations of Congress, is fixed by the Organizing Committee who calls for preparatory reports which are to serve as a basis for discussions. These reports, or the translation of the same, are forwarded to the members of Congress before the opening of the session.

Communications, not included in this programme, that may be submitted to Congress, are to be addressed by their authors with an explanatory report to the Organizing Committee before the 1st of June 1892.

Communications thus submitted are only admitted on a decision of the Committee.

ART. 6.

The session of Congress comprises :

- General sittings,
- Sectional sittings,
- An exhibition,
- Excursions.

The questions are first examined in sectional sittings and discussed after in general ones.

ART. 7.

Every member mentions on his inscription if he desires to enter in one or several sections.

Excursions are not obligatory and members only pay the expenses of those in which they take part.

ART. 8.

At the opening of the Session the Organizing Committee suggest the election of the Boards of Sections and Congress.

The work of Congress is divided into 4 Sections :

1st Section. Construction and maintenance of Inland waterways.

2^d — Technical working.

3^d — Commercial working and economical questions.

4th — Waterways in their tidal part.

ART. 9.

The sittings of Sections are opened by a brief summary of the preparatory reports.

One or several reporters are appointed by each Section to support in general sittings the conclusions adopted after the discussion of each question.

ART. 10.

Debates in sectional or general sittings are held in French, English and German.

No member to speak more than twice or longer than 15 minutes on the same subject, without a special decision of the assembly.

ART. 11.

The proceedings of the sittings drawn up by the Secretaries to be printed and distributed with the least possible delay. Members will to this effect hand to the Secretaries a brief summary of their remarks in the 24 hours after the debate; if they fail to do this, the summing-up of the secretaries to replace their communications. The said summaries may be shortened by the Board.

ART. 12.

The Organizing Committee lays down before hand the programme of sittings and excursions, to be modified by the Board of Congress if necessary.

This programme is distributed to all Members at the opening of the Session.

Each Board of Congress and Sections to fix its own order of debates.

ART. 13.

The Organizing Committee has to last during the whole Congress and after its close.

Besides the material organisation of the Session and the preparing before hand of all questions to be submitted to Congress, this Committee is appointed to recover all subscriptions and excursion expenses, to manage the funds collected, to prepare the exhibition, to organise and manage the excursions and also to superintend the offices of the Congress and all correspondence, stenography, translations, printing and distributing services etc., etc.

ART. 14.

The said Committee issues the proceedings of the Session, and a copy of the same in one of the three languages mentioned previously is distributed to each Member of Congress.

All communications for the Committee to be addressed to the : *Secrétariat général du V^{ème} Congrès International de Navigation Intérieure, Bourse de Commerce, rue du Louvre, Paris.*

FIFTH INTERNATIONAL CONGRESS

ON

INLAND NAVIGATION

PARIS — 1892

I, the undersigned, declare to adhere in the capacity of member, to the *Fifth Congress on Inland Navigation* to be held in the month of July 1892 at Paris. I intend to take especially part in the work of one of the following sections :

- 1st SECTION. — Construction and maintenance of waterways.
- 2^d — Technical working.
- 3^d — Commercial working and economical questions.
- 4th — Navigable waterways in their tidal part.

I also have the intention of taking part :

(a) In the excursion on the canals of the North which is to take place on the 19th and 20th July. *Meeting at Lille, July 18th in the evening.*

(b) In the excursion on the waterways of the Center to take place after the closing of Congress, July 31st and August 1st, 2^d and 3^d.

I shall occupy a seat in Congress :

as a private man.

as the representative of the government*

as that of*

I speak French, English, German.

I desire the reports and proceedings to be addressed to me in French, English, German.

Signed at

the

Signature

Please to write
clearly.

Names :

Qualification :

Address :

N. B. — Members are requested to draw a line through the indications that do not refer to their situation or intentions and to send this form to **MM. Claude Lafontaine, Martinet and C^o, bankers, 32, rue de Trévis, Paris.** (Enclosed herewith an envelope).

It is necessary to know as exactly as possible the number of members who intend taking part in the two excursions, as the organisation of the said excursions is necessarily subordinated to the number of excursionists.

FIFTH INTERNATIONAL CONGRESS
ON
INLAND NAVIGATION

PARIS — 1892

I, the undersigned, having consented to be a member of the *Fifth International Congress on Inland Navigation*, to be held in the month of July 1892 in Paris, as stated in my declaration, enclose herewith a P. O. O for 25 frs (20 shillings) as the amount of my subscription in favour of **MM. Claude Lafontaine, Martinet and C^o, bankers, 52, rue de Trevise, Paris.**

Signed at the

Signature

Please to write
clearly

Names :
Qualification :
Address :

N. B. — Extract from art. 4 of Statutes : “Each member of Congress receives an intransferable card conferring on him the right of assisting at the sittings and taking part in the excursions.” This card will be forwarded to each member by the General Secretary after payment of the subscription.

ASTENOR

OF 1887

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY
ASTENOR
OF 1887
THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY
ASTENOR
OF 1887

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY

ASTENOR

OF 1887

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY
ASTENOR
OF 1887
THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY
ASTENOR
OF 1887

V^{ème} CONGRÈS INTERNATIONAL

DE

NAVIGATION INTÉRIEURE

PARIS 1892

SECRÉTARIAT GÉNÉRAL

Adresse Télégraphique

INTERNAUTE-PARIS

Bourse de Commerce, Rue du Louvre, Paris

le 22 Juin

1892.

Dear sir,

We beg to acknowledge receipt of your letter containing the amount of your subscription and also your adhesion to the V. International Congress on Inland Navigation. Herewith enclosed please find with our best thanks your card as Member of the said Congress bearing the N^o 503.

In order to facilitate the distribution of letters, papers, telegrams, etc., addressed to you during your stay in Paris and being to be delivered to you by the care of the Secretary General, it would be very desirable that this N^o should be placed on the address, joined to your name.

7 ter

Rich Sutton Esq.,

*For the same purpose you are earnestly requested to call
on your arrival at Paris on the Secretary General in order to have
your address entered on the list of the attending Members.*

*Hoping to receive an early reply acknowledging the receipt of
the enclosed card, we have the honour to be*

Dear sir,

your most obedient servants,

Secrétaire Général

M. de Ma

V^{ème} CONGRÈS INTERNATIONAL *Bourse de Commerce, rue du Louvre, Paris*
DE
NAVIGATION INTÉRIEURE *Juin 1892.*

—*—
PARIS 1892

—*—
SECRÉTARIAT GÉNÉRAL

—◇◇—
Adresse Télégraphique : INTERNAUTE-PARIS

—◇—
TÉLÉPHONE

M. _____, *Membre du Congrès.*

Carte n° 

MONSIEUR,

Nous avons eu l'honneur de porter à votre connaissance que, sur tous les chemins de fer français, les membres du V^{ème} Congrès International de Navigation Intérieure jouiront du transport à demi-place, tant à l'aller que pour le retour; le moment est venu de faire auprès des Compagnies les démarches nécessaires pour réaliser le bénéfice de cette disposition, c'est-à-dire pour obtenir les Bons de réduction personnels qui devront vous être remis. En présentant aux guichets des Compagnies ces Bons de réduction et, en tant que de besoin, à l'appui, votre carte de membre du Congrès, il vous sera distribué des billets à demi-tarif.

Pour pouvoir établir ces Bons de réduction, il est néces-

E.

saire que nous sachions si vous prendrez part à l'excursion sur les canaux du Nord et, par suite, si vous vous rendrez d'abord à Lille, ou bien, au contraire, si vous vous rendrez directement à Paris. Dans l'une ou l'autre hypothèse, vous voudrez bien nous faire connaître votre itinéraire, depuis votre résidence en France ou depuis la gare frontière par laquelle vous entrerez en France, jusqu'au lieu de destination.

Une distinction analogue doit être faite en ce qui concerne le retour. Vous pourrez, en effet, partir soit de Paris directement, soit de Lyon si vous prenez part à l'excursion sur les canaux du Centre. Dans l'un et l'autre cas, vous voudrez bien nous faire connaître votre itinéraire depuis le lieu de départ jusqu'à votre résidence en France ou à la gare frontière par laquelle vous sortirez de France.

Il vous suffira, pour que nous soyons exactement renseignés, de nous renvoyer, après avoir dûment rempli les quatre premiers articles, le questionnaire ci-joint. Nous vous serons obligés de vouloir bien nous faire ce renvoi le plus tôt possible, et, dans tous les cas, avant le 1^{er} juillet, afin que les Bons de réduction puissent vous parvenir en temps utile. Messieurs les membres étrangers qui auraient l'intention de se mettre en route quelque temps avant l'ouverture du Congrès, agiraient prudemment en nous faisant connaître leurs adresses successives ainsi que les dates auxquelles il conviendra de leur envoyer la correspondance à ces diverses adresses.

Un grand nombre de membres du Congrès ont manifesté l'intention de prendre part aux excursions initiale et finale; d'un autre côté, la fin de juillet est précisément le moment de la plus grande affluence des voyageurs et des baigneurs dans les villes maritimes; enfin, parmi les localités à visiter, il en est qui n'offrent que des ressources restreintes. Il a donc paru nécessaire de prendre des mesures particulières pour assurer dans les meilleures conditions possibles, aux excursionnistes, le logement, la table, etc. A cet effet, la Commission d'Organisation du Congrès s'est assuré le concours d'une Société spéciale, l'*Agence des Voyages Économiques*, qui se charge, à forfait, de tous les services autres que les transports en chemins de fer ou en bateaux à vapeur, dont elle encaisse néanmoins le montant. Moyennant un prix une fois payé, chaque membre du Congrès prenant part à une excursion sera donc défrayé de tout. L'intervention de l'Agence permet également d'assurer, dans des conditions confortables, le logement, la table, etc., aux dames qui voudraient prendre part aux excursions.

Nous rappelons, en effet, que les dames peuvent participer au Congrès et à toutes les excursions, mais à la condition de s'être fait inscrire comme membres du Congrès et d'être titulaires d'une carte.

Le programme de l'excursion du Nord est aujourd'hui arrêté dans ses détails, il comprend :

Le 18 juillet. — Rémion à Lille; Réception offerte par la Commission d'Organisation dans l'hôtel de la Société Indus-

trielle du Nord de la France, à 9 heures du soir. MM. les membres du Congrès seront admis sur la présentation de leur carte. — *Tenue de ville ou de voyage.*

Le 19 juillet. — Départ de Lille.

Dans la matinée, visite des ports établis sur les canaux de la Deule et d'Aire pour l'embarquement des houilles des charbonnages de Lens, de Bruay et de Marles.

Dans l'après-midi, visite du port de Dunkerque.

Coucher à Dunkerque.

Le 20 juillet. — Départ de Dunkerque.

Dans la matinée, visite de l'ascenseur des Fontinettes.

Dans l'après-midi, visite du port de Calais.

Après dîner, départ pour Paris; arrivée à Paris vers minuit.

Le prix de cette excursion est fixé à 75 francs; il comporte, ainsi que nous l'avons expliqué plus haut, tous les transports jusqu'à Paris (gare du Nord), ainsi que le logement, la table, etc., pendant toute la durée de l'excursion, y compris le dîner du 18 à Lille. Les heures d'arrivée des trains sont en effet telles que tous les excursionnistes seront conduits à dîner à Lille, le jour de la réunion.

En arrivant dans la gare de cette ville, MM. les membres du Congrès y trouveront installé un bureau où, moyennant le versement de 75 francs, il leur sera délivré un carnet de tickets spécial à l'excursion. Ils y recevront, en même temps, toutes les indications et tous les renseignements désirables.

A raison des difficultés que présente l'organisation de cette excursion, il est indispensable que nous sachions *exactement* le nombre de personnes qui y prendront part. Comme elle doit précéder l'ouverture du Congrès, nous sommes obligés de vous demander à l'avance *un engagement ferme* et nous vous prions de remplir, en conséquence, l'article 5

du questionnaire ci-joint¹. Ajoutons, en terminant, qu'il ne nous serait pas possible de faire droit aux demandes qui nous parviendraient après le 8 juillet prochain.

Parmi celles qui sont projetées pendant la durée du Congrès figure une excursion sur la Basse-Seine et la Seine maritime qui doit avoir lieu le samedi 25 juillet dans l'après-midi, et le dimanche 24. Elle suit de trop près l'ouverture du Congrès pour qu'il ne soit pas indispensable de l'organiser à l'avance et de vous demander également, si vous devez la faire, *un engagement ferme*.

Le programme de cette excursion est le suivant :

25 juillet. — Départ de Paris (gare Saint-Lazare) à midi, en chemin de fer, jusqu'à Saint-Pierre-du-Vauvray.

Embarquement en bateau à vapeur, visite du barrage de Poses; trajet par la Seine jusqu'à Pont-de-l'Arche.

Chemin de fer de Pont-de-l'Arche au Havre; diner et coucher au Havre.

24 juillet. — Dans la matinée, visite du port du Havre.

A 10 heures, embarquement, trajet en bateau à vapeur, par la Seine, du Havre à Rouen.

Après-midi, visite du port de Rouen. Dîner à Rouen, retour à Paris dans la soirée par chemin de fer.

Le prix de l'excursion est fixé à 65 francs, les conditions étant les mêmes que pour l'excursion sur les canaux

1. Veuillez également remplir et nous retourner en même temps le Bulletin de logement ci-inclus de l'Agence des Voyages Économiques.

du Nord. Un bureau sera installé dans les locaux du Congrès, au Palais de l'Industrie, où les tickets nécessaires à l'excursion des 23 et 24 juillet seront délivrés, moyennant la somme ci-dessus énoncée.

Pour nous faire connaître vos intentions au sujet de cette excursion, il vous suffira de répondre à l'article 6 du questionnaire ci-joint. Le nombre des participants ne pourra dépasser 200, et il nous sera impossible de faire droit aux demandes qui nous parviendraient après le 19 juillet prochain.

MM. les membres du Congrès qui se rendront directement à Paris sont invités à une réception offerte par la Commission d'Organisation, le 20 juillet, à 9 heures du soir, à la Bourse de Commerce; ils seront admis sur la présentation de leur carte. — *Tenue de ville ou de voyage.*

Veillez agréer, Monsieur, l'assurance de notre considération la plus distinguée.

*Le Secrétaire général,
Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées,*

F. B. DE MAS.

P.-S. — Pour les autres excursions, vous aurez à vous faire inscrire dès votre arrivée à Paris, au bureau installé, comme il a été dit ci-dessus, dans les locaux du Congrès, au Palais de l'Industrie.

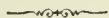
Voici, d'ailleurs, la désignation et le prix de chacune des excursions projetées, les prix indiqués pouvant être encore modifiés mais constituant, en tout cas, des maxima.

1 ^e Excursion sur la Haute-Seine.	4 fr.
2 ^e Excursion à Joinville-le-Pont et sur le canal Saint-Maurice; Halage funiculaire.	4 »
5 ^e Excursion au bassin de La Villette et au canal Saint-Denis; Écluse de 10 mètres de chute	4 »
4 ^e Excursions sur la Marne	4 et 8 »
5 ^e Excursion aux barrages de Suresnes et de Bougival, sur la Basse-Seine.	9 »
Excursion finale sur les canaux du Centre, avec terminus à Lyon.	125 »

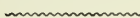
C'est également au Palais de l'Industrie que, à partir du 20 juillet inclus, seront installés les bureaux du Secrétariat général et se fera la distribution des documents de toute nature, de la correspondance, etc., à MM. les membres du Congrès.

V^{ème} Congrès International de Navigation Intérieure

PARIS 1892



SECRÉTARIAT GÉNÉRAL



M. *W. Rich Hutton*, Membre du Congrès.

CARTE N^o 

1^o Je me rendrai à Lille de⁽¹⁾
par⁽²⁾

2^o Je me rendrai directement à Paris de⁽¹⁾
par⁽²⁾

3^o Je retournerai directement de Paris à⁽¹⁾
par⁽²⁾

4^o Je retournerai de Lyon à⁽¹⁾
par⁽²⁾

5^o Je prendrai part à l'Excursion des 18, 19 et
20 Juillet, sur les Canaux du Nord⁽³⁾

6^o Je prendrai part à l'Excursion des 23 et 24 Juillet,
sur la Seine⁽³⁾

(1) Résidence en France ou gare frontière d'entrée en France.

(2) Indiquer l'itinéraire.

(3) Répondre Oui ou Non.

1893

A. LAHURE

IMPRIMEUR-ÉDITEUR

PARIS — 9, rue de Fleurus — PARIS

— 302 —

CATALOGUE

1893

Ce Catalogue renferme les dernières nouveautés



COURS DE CODE CIVIL

PAR M. DEMOLOMBE

Doyen de la Faculté de droit, ancien bâtonnier de l'ordre des avocats à la Cour d'appel de Caen, commandeur de la Légion d'honneur, membre du Conseil supérieur de l'Instruction publique.

LIVRE I. — Des personnes.

Traité de la Publication, des Effets et de l'Application des lois en général; de la Jouissance et de la Privation des droits civils; des Actes de l'état civil; du Domicile (C. N., art. 1 à 111); 6 ^e édit. 1 vol.	8 fr. »
Traité de l'Absence (C. N., art. 112 à 143); 6 ^e édit. 1 vol.	8 fr. »
Traité du Mariage et de la Séparation de corps (C. N., art. 144 à 311); 6 ^e édit. 2 vol.	16 fr. »
Traité de la Paternité et de la Filiation (C. N., art. 312 à 342); 6 ^e édit., 1 vol.	8 fr. »
Traité de l'Adoption et de la Tutelle officieuse; de la Puissance paternelle (C. N., art. 343 à 387); 6 ^e édit. 1 vol.	8 fr. »
Traité de la Minorité, de la Tutelle et de l'Émancipation; de la Majorité, de l'Interdiction et du Conseil judiciaire; des Individus placés dans un établissement public ou privé d'aliénés (C. N., art. 388 à 515); 6 ^e édit. 2 vol.	16 fr. »

LIVRE II. — Des biens et des différentes modifications de la propriété.

Traité de la Distinction des biens; de la Propriété; de l'Usufruit; de l'Usage et l'Habitation (C. N., art. 516 à 636); 6 ^e édit. 2 vol.	16 fr. »
Traité des Servitudes ou services fonciers (C. N., art. 637 à 710); 7 ^e édit. 2 vol.	16 fr. »

LIVRE III. — Des différentes manières dont on acquiert la propriété.

Traité des Successions (C. N., art. 711 à 892); 6 ^e édit. 5 vol.	40 fr. »
Traité des Donations entre-vifs et des Testaments (C. N., art. 893 à 1100); 6 ^e édit. 6 vol.	48 fr. »
Traité des Contrats ou des Obligations conventionnelles en général (C. N., art. 1101 à 1340). Tomes I à VIII. 5 ^e édit.	64 fr. »

(31 vol. parus). Chaque volume se vend séparément : 8 francs.

COURS ÉLÉMENTAIRE DE DROIT CRIMINEL

Comprenant le commentaire des deux premiers livres du Code pénal, du Code d'instruction criminelle en entier et des lois nouvelles qui les ont modifiés, par E. TRÉBUTIEN, professeur à la Faculté de droit de Caen, chargé du cours de Droit criminel. — Seconde édition, revue, augmentée et mise au courant de la législation et de la jurisprudence jusqu'en 1876, par MM. J. LAISNÉ-DESHAYES, avocat, professeur à la Faculté de droit de Caen, et L. GUILLOUARD, avocat, professeur à la Faculté de droit de Caen.

— Tome I : Droit pénal. 1 vol. in-8.	8 fr. »
— Tome II : Instruction criminelle. 1 vol. in-8.	10 fr. »

COURS DE DROIT ADMINISTRATIF

Par A. GAUTHIER, professeur de droit administratif à la Faculté de droit d'Aix. 1^{re} partie: Précis des matières administratives dans leurs rapports avec les matières civiles et judiciaires. 1 vol. in-8, 8 fr. — 2^e partie: Précis des matières administratives dans leurs rapports avec le droit public. 1 vol. in-8. 8 fr. »

DU CONFLIT DES LOIS PERSONNELLES

FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES

Par ROUGELOT DE LIONCOURT, docteur en droit, avocat à la Cour d'appel. — Ouvrage couronné par la Faculté de droit de Caen (concours du doctorat, 1^{re} médaille d'or) et par l'Académie de Législation de Toulouse (prix Cujas, médaille d'or). 1 vol. in-8. 6 fr.

A B C DU DROIT USUEL

OU MÉTHODE PRATIQUE POUR L'ÉTUDE DES ACTES DE LA VIE CIVILE

Contenant le fac-similé des principaux actes et la théorie du droit pratique usuel, par Henri REVERDY, suppléant du juge de paix, ancien notaire à Nogent-le-Roi, membre de la Société archéologique d'Eure-et-Loir. 1 50

NOUVEAU PETIT CODE DE COMMERCE
SUIVI DE LA NOUVELLE LOI SUR LES FAILLITES
Par un COMMERÇANT

Prix. 1 fr. 50

LES TESTAMENTS

Traité pratique contenant: ÉLÉMENTS DU DROIT — MODÈLES MANUSCRITS — FORMULES, par H. REVERDY, ancien notaire, ancien juge de paix. 1 volume in-8.. 2 fr. »

PETIT CODE DES CONTRIBUTIONS DIRECTES

Un volume, broché 1 fr. 50

LOI SUR LA LIBERTÉ DE LA PRESSE

20 juillet 1881. — Une brochure in-18. 0 fr. 50

COMMENTAIRES DE LA LOI SUR LA PRESSE

Circulaire du 9 novembre 1881. — Une brochure in-18 0 fr. 25

MANUEL de la DISSERTATION PHILOSOPHIQUE

Par ERN. LABBÉ, professeur agrégé de philosophie au lycée de Nantes.

PREMIÈRE PARTIE

Dissertations données à la Sorbonne, dans les Facultés de lettres et dans les classes, avec observations, notes, plans, conseils et sujets traités pouvant servir de modèles. 1 vol. in-12 3 fr. 50

DEUXIÈME PARTIE

Cours de philosophie et analyse des auteurs philosophiques, réponses sommaires à toutes les questions du programme officiel du 2 août 1881. 1 vol. in-12. . 3 fr. 50

TROISIÈME PARTIE

Analyse des auteurs philosophiques; nouvelle édition revue, corrigée et mise en rapport avec le nouveau programme. 3 fr. 50

DE LA CONSTITUTION ET DES MAGISTRATURES ROMAINES
SOUS LA RÉPUBLIQUE

Par ALBERT DUPOND, ancien élève de l'École normale, docteur ès lettres. 1 vol. in-18, broché 3 fr. 50

LE GORGIAS

COMMENTAIRE GRAMMATICAL ET LITTÉRAIRE DES CHAPITRES XXXVII-LXXXIII

Précédé d'une étude sur le style de Platon et suivi d'un appendice sur les mythes de ce philosophe, par C. HUIR, docteur ès lettres. 2 fr. »

AUTEURS GRECS TRADUITS PAR A. LEGOUÉZ

PROFESSEUR AU LYCÉE CONDORCET

Hymnes homériques, traduction littérale et commentaire grammatical. . 1 fr. »
Denys d'Halicarnasse. Première lettre à Ammée, traduction littérale précédée d'une introduction. 0 fr. 75
Rhétorique d'Aristote. LIVRE II, CHAPITRES I-XVI. Traduction littérale, suivie d'un commentaire. 1 fr. 50
Les chœurs de l'Antigone de Sophocle. Traduction et analyse avec une introduction et un commentaire. 1 fr. »
Pythiques de Pindare. Odes I, II, III. Traduction littérale précédée d'une introduction et suivie d'un commentaire et d'un appendice. 0 fr. 75
Démétrius, vulgairement dit de Phalère. Première traduction française avec notes, par M. GUILLEMOT, professeur au lycée Condorcet. 2 fr. »

ODES D'ANACRÉON & POÉSIES DE SAPHO

Traduit en vers par PROSPER YVAREN

Président honoraire de l'Académie de Vaucluse

Un volume in-8, titre rouge et noir (*tirage à 200 exemplaires*). . . . 10 fr. »

LE DERNIER DIRECTEUR GÉNÉRAL DES FORÊTS, 1868-1877

Par HENRY DE VEXEL, ancien conservateur des forêts. 5 fr. »

FORMULES ET TABLES

Pour les calculs d'intérêts composés, d'amortissements et d'amortissement.

Traité pratique des principales opérations financières se rattachant aux Emprunts, par KRAUSS-TASSIUS. 1 vol. in-8. Prix. 12 fr. »

TABLES DES PARITÉS

De la rente 3 % amortissable au pair et de l'obligation 500 fr. 5 % avec une rente perpétuelle quelconque, par KRAUSS-TASSIUS. 1 volume in-8. 6 fr.

ESSAI D'UN VOCABULAIRE ÉTYMOLOGIQUE

du Patois de Plancher-les-Mines (Haute-Saône)

Par le Dr VICTOR POULET, lauréat de l'Institut et de l'Académie de médecine. 1 vol. in-12, broché. 3 fr. 50

TRAITÉ D'APICULTURE PRATIQUE

Par P. CH. d'HUBERT. 1 vol. in-8, broché. 4 fr. »

LE DISTILLATEUR-LIQUORISTE MODERNE

Résolution de tous les problèmes sur les sirops, les alcools et les liqueurs par G. BRIANCOURT, distillateur, liquoriste. 1 vol. in-8. 2 fr.

TYPOGRAPHIE DES MATHÉMATIQUES

par Ch. POLGUÈRE

Un volume 3 fr.

ÉTUDE SUR LES IMPRESSIONS EN COULEURS

Par A. ACHARENTRE, rédacteur en chef du *Gutenberg-Journal*, 1 vol. avec portrait de l'auteur en lithographie. Prix : 1 franc, franco. 1 fr. 25

DU PAPIER MÉCANIQUE

ET DE SES APPRÊTS DANS LES DIVERSES IMPRESSIONS

Par GEORGES OLMER; ouvrage accompagné d'un tableau de concordance entre les papiers de divers formats. Prix : 2 francs, franco. 2 fr. 25

L'ÉLECTRICITÉ A L'EXPOSITION INTERNATIONALE ET COLONIALE D'AMSTERDAM

Par MOURLON 0 fr. 50

CATALOGUE DES PUBLICATIONS RELATIVES A LA NAVIGATION INTÉRIEURE, comprenant une préface, une table des matières, une table alphabétique des noms d'auteurs et une table des abréviations, publié par le 1^{er} Congrès international de Navigation intérieure (21 juillet au 1^{er} août 1892). In-8 Jésus. 4 fr. 25

GUIDE-PROGRAMME OFFICIEL de l'Exposition du 1^{er} Congrès international de Navigation intérieure, comprenant un plan des locaux affectés au Congrès, des renseignements généraux, des notices relatives aux diverses excursions, avec cartes, les plans des ports de Calais, Dunkerque, Rouen, le Havre et de la ville de Lyon, une table des matières. In-16 double couronne. 2 fr. »

CATALOGUE DES OBJETS EXPOSÉS à l'Exposition du 1^{er} Congrès international de Navigation intérieure, comprenant un plan de l'Exposition, la nomenclature détaillée des objets exposés, avec leur numéro d'ordre, le nom et l'adresse de l'exposant. In-8 Jésus. 50 c.

CATALOGUE GÉNÉRAL OFFICIEL de l'Exposition internationale d'électricité. Paris 1881. 1 gr. vol. in-8. 1 fr. »

CATALOGUE GÉNÉRAL OFFICIEL de l'Exposition de Bordeaux 1882. 1 vol. grand in-8. 1 fr. »

CATALOGUE OFFICIEL SPÉCIAL DES VINS à l'Exposition de Bordeaux 1882. 1 vol. in-8 broché. 1 fr. »

CATALOGUE OFFICIEL SPÉCIAL DE L'ART ANCIEN à l'Exposition de Bordeaux 1882. 1 vol. in-8 broché. 0 fr. 50

CATALOGUE OFFICIEL DES RÉCOMPENSES à l'Exposition de Bordeaux 1882. 1 vol. in-8, broché. 1 fr. »

CATALOGUE OFFICIEL de l'Exposition de la Société des Artistes Indépendants pour 1887. 0 fr. 50

CATALOGUE OFFICIEL de l'Exposition de la Société des Artistes Indépendants pour 1888. 0 fr. 50

CATALOGUE OFFICIEL de la Société des Artistes Indépendants pour 1886. 0 fr. 50

CATALOGUE GÉNÉRAL OFFICIEL de l'Exposition d'hygiène à Paris 1886. 1 vol. in-16, broché. 0 fr. 40

HISTOIRE GÉNÉRALE DE LA VÉLOCIPÉDIE, par L. BAUDRY DE SAUNIER, avec préface de JEAN RICHELIN, 1 vol. in-18, broché. 3 fr. »

NIJNI-NOVGOROD, MOSCOU, SAINT-PÉTERSBOURG

Par LÉON SICHLER. 1 brochure in-8 0 fr. 50

LE RÉGIME DES PASSEPORTS EN ALSACE-LORRAINE

Par JEAN MEINWEH. — 1 vol. in-16. 4 fr.

LES QUESTIONS D'ASSURANCES DE 1878 A 1881

Par V. SÉNÈS, avocat, membre correspondant de l'Institut des actuaires de Londres.
Un fort vol. in-8. 5 fr. »

LES FRANCHISES DE LA CHAIRE CHRÉTIENNE

(UN SERMON DE BOSSUET)

Par AUGUSTE NISARD, doyen honoraire de l'Institut catholique de Paris, officier de la Légion d'honneur. 1 vol. gr. in-8. 1 fr. »

LE 8^{me} CUIRASSIERS

(LES CUIRASSIERS DU ROY)

Journal historique du régiment (1638-1892), par le Capitaine d'AMONVILLE,
Commandant d'escadron au 8^e cuirassiers.

Illustré par CHARLES MOREL et R. DONCIEUX, lieutenant au 8^e cuirassiers. Prix : 10 fr. »

HISTORIQUE DU 12^e RÉGIMENT DE CUIRASSIERS 1668-1889

Par R. DE PLACE, lieutenant au 12^e Cuirassiers

Un beau volume in-8 raisin illustré de 49 gravures dans le texte, avec les différents étendards
du régiment colories. Prix : 10 fr. »

HISTORIQUE DU 82^e RÉGIMENT D'INFANTERIE DE LIGNE

ET DU 7^e RÉGIMENT D'INFANTERIE LÉGÈRE (1864-1876)

Par P. ARVERS, capitaine au 82^e, avec les différents types d'uniformes de
l'infanterie, légère et de ligne, d'après les collections du Ministère de la guerre,
par CH. BRECHT, lieutenant au 82^e, dessinés et gravés à l'eau-forte, par E. Colomb,
sous-lieutenant au 82^e. 1 beau vol. in-8 raisin avec 23 planches en noir. 10 fr. »

MÉMOIRES DU MARÉCHAL RANDON

2 vol. in-8 et deux cartes de l'Algérie, 2^e édition. 10 fr. »

MANUEL DES TIRS ET DES TIREURS

Par HENRY DE JARRY DE BOUFFEMONT. 5 fr. »

NOUVELLE MÉTHODE D'ESCRIME A CHEVAL

Par le commandant DÉRUCÉ, du 14^e Dragons. 1 vol. in-8, avec gravures. 3 fr. »

LE HAVRE ET LA SEINE-INFÉRIEURE

PENDANT LA GUERRE DE 1870-1871

PAR ALBERT LEROY

Nouvelle édition avec plans, fac-similés et portraits, augmentée de nombreux documents et d'un récit du combat de Buchy par M. l'amiral Mouchez. 1 fort vol. in-8°. 8 fr. »

JOURNAL DE L'ADJUDANT GÉNÉRAL RAMEL

Commandant de la garde du Corps législatif

de la République française, l'un des déportés à la Guyane après le 18 fructidor (4 septembre 1797)

Un volume in-8°. 2 fr. »

COLA DI RIENZO

HISTOIRE DE ROME DE 1342 A 1354

par Emmanuel ROBOCANACHI

Membre de la Société des études historiques

Ouvrage orné de 6 gravures hors texte, et de 19 vignettes, accompagné d'une carte et de deux lettres inédites de Cola di Rienzo, grand in-8. 7 fr. 50

LE BRÉSIL, PAR E. LEVASSEUR

Membre de l'Institut, professeur au Collège de France et au Conservatoire des Arts et Métiers, avec la collaboration de MM. de Rio-Branco, Eduardo Prado, d'Ourem, Henri Gorceix, Paul Maury, E. Trouessart et Zaborowski, illustré de gravures, cartes et graphiques et accompagné d'un appendice par " et M. Glasson, membre de l'Institut, et d'un album de vues du Brésil exécuté sous la direction de M. de Rio-Branco.

Format 32 × 22. 25 francs

LES POSSESSIONS ESPAGNOLES DU GOLFE DE GUINÉE

LEUR PRÉSENT ET LEUR AVENIR

Par le lieutenant SORÉLA. — Une brochure in-8 avec carte. Prix. 2 fr. »

LA FRANCE N'EST PAS JUIVE

Par Léonce RAYNAUD

Un volume in-16. 3 fr. 50

LES JUIFS FRANÇAIS

Par Léonce RAYNAUD

Un volume in-16 3 fr. 50

LA RAGE

AVANTAGES DE SON TRAITEMENT PAR LA MÉTHODE PASTEUR, NÉCESSITÉ DE CAUTÉRISATIONS PRÉALABLES, par le docteur **CONSTANTIN JAMES**

Un volume orné de plusieurs vignettes; 2^e édition. Prix 2 fr. »

M. PASTEUR

SA NOUVELLE MÉTHODE DITE **MÉTHODE INTENSIVE** PEUT-ELLE COMMUNIQUER LA RAGE? Par le docteur **CONSTANTIN JAMES**

Un volume broché 1 fr. »

LE CANTIQUE DES CANTIQUES

En vers français par Albert FORNELLES

SUIVI DU TEXTE DE LA VULGATE

Tirage à 500 exemplaires numérotés, 9 à 50, papier de Hollande 15 fr. »

51 à 500, papier vélin. 5 fr. »

RIMES D'AUTOMNE

Par Ch. MAIRE. — 1 vol. in-12 4 fr. »

THE EARL OF LYTTON

THE POEM OF THE QUEEN VICTORIA

Translated into English verses from Le Poème de la Reine, dédié avec autorisation à S. M. royale la Reine d'Angleterre, impératrice des Indes, par le Marquis de SAINT-YVES D'ALVEYDRE.

Prix : 2 fr. 50

MATERNITÉ ROYALE et Mariages royaux. Danemark, Suède, Angleterre, Grèce, Russie, Hanovre, France, par Saint-Yves d'Alveydre. 1 vol. in-16. 2 fr.

L'EMPEREUR ALEXANDRE III. Epopée russe, par Saint-Yves d'Alveydre. 1 vol. in-16 2 fr. 50

LE POÈME DE LA REINE. Dédié à Sa Majesté la Reine d'Angleterre, par Saint-Yves d'Alveydre. 1 vol. in-16. 2 fr.

Le Drapeau, poésie de M. Tronche. 0 fr. 50

Monsieur Joseph, conte en vers 0 fr. 50

Au Fil de l'Eau, mélodie avec musique, par L. Tronche 1 fr. 25

LÉON XIII, gr. portrait, gravé par Robert. Haut. 0^m49, larg. 0^m37. 1 fr. »

VICTOR HUGO, gr. portrait, gravé par Robert. Haut. 0^m40 larg. 0^m30. 1 fr. »

S. A. B. ALI BEN HASSEIN, bey de Tunis. Magnifique chromotypographie grand in-folio, d'après le tableau de M^{me} A. MUNSCH. Prix. 1 fr. »

ENSEIGNEMENT PAR LES YEUX

(Ouvrages admis par la Commission des Bibliothèques populaires et scolaires).

L'HISTOIRE DE FRANCE EN 100 TABLEAUX

Illustrée de 490 gravures

Par Paul LEHUGEUR

PROFESSEUR AGRÉGÉ D'HISTOIRE AU LYCÉE HENRI IV

La collection en feuilles.	5 fr. »	|	La collection reliée en album	10 fr. »
— cart., in-folio ou in-4°.	7 fr. 50	|	— sur 50 cartons.	15 fr. »
			— collée sur cent cartons.	25 fr. »

L'HISTOIRE CONTEMPORAINE DE LA FRANCE EN 60 TABLEAUX

Illustrée de 256 gravures

par Paul LEHUGEUR

PROFESSEUR AGRÉGÉ D'HISTOIRE AU LYCÉE HENRI IV

La Collection en feuilles.	5 fr. »
— cartonnée in-folio ou in-4°.	5 fr. 50
— reliée en album in-4, toile riche	8 fr. »
— collée sur 60 cartons.	15 fr. »
— — 50 —	10 fr. »

L'HISTOIRE SAINTE EN 100 TABLEAUX

Illustrée de 387 gravures

Ouvrage approuvé par Monseigneur le Cardinal-Archevêque de Paris, Monseigneur le Cardinal-Archevêque de Reims, Monseigneur l'Archevêque de Cambrai, Monseigneur l'Evêque de Beauvais.

La collection en feuilles.	5 fr. »	|	La collection collée sur 50 cartons.	15 fr. »
— cart., in-folio ou in-4°.	7 fr. 50	|	— — sur 100 cartons.	25 fr. »
— reliée en album, toile riche.	10 fr. »			

ON VEND SÉPARÉMENT :

ANCIEN TESTAMENT

La collection en 50 feuilles	2 fr. 50
— cart., in-folio ou in-4°.	4 fr. »
— reliée, in-4° en album	6 fr. »
— collée sur 50 cartons	12 fr. 50
— — sur 25 —	7 fr. 50

NOUVEAU TESTAMENT

La collection en 50 feuilles	2 fr. 50
— cart., in-folio ou in-4°.	4 fr. »
— reliée, en album in-4°	6 fr. »
— collée sur 50 cartons.	12 fr. 50
— — sur 25 —	7 fr. 50

BONS POINTS SCOLAIRES

100 Bons points d'Histoire de France. 1 fr. 75

LES CONTES DE PERRAULT

Un magnifique volume grand in-4° contenant : 58 grandes compositions en couleurs, frontispices, têtes de chapitres, culs-de-lampe et lettres ornées originales, tirés en diverses couleurs, le tout d'après les aquarelles et dessins d'Adrien Marie, imprimés en chromotypographie.

Prix du volume relié. 25 fr.

ALBUMS POUR ENFANTS

- LES ENFANTS TERRIBLES, illustrés par BERTALL, avec encadrements en rouge. 1 volume grand in-4, cartonné 2 fr. 50
- LES ENFANTS IMPRUDENTS, illustrés de magnifiques gravures par MORIN. 1 volume in-8, cartonné 2 fr. 50
- LE PETIT POUCE, par CH. PERRAULT, dessins d'ADRIEN MARIE, couvertures en couleurs. 1 volume in-4 cartonné 2 fr. 50
- LA BARBE BLEUE, par CH. PERRAULT, dessins d'ADRIEN MARIE et de G. FATH, gravures en couleurs. 1 volume in-4, cartonné. 2 fr. 50
- LE PETIT CHAPERON ROUGE, par CH. PERRAULT, 8 gravures en couleurs, dessins d'ADRIEN MARIE et FOULQUIER. 1 volume in-4, cartonné. 2 fr. 50
- LE CHAT BOTTÉ, par CH. PERRAULT, 11 gravures, dessins d'ADRIEN MARIE et MORIN. 1 volume in-4, cartonné. 2 fr. 50
- LA BELLE AU BOIS DORMANT, par CH. PERRAULT, 9 gravures, dessins d'ADRIEN MARIE et FOULQUIER. 1 volume in-4, cartonné. 2 fr. 50
- Cendrillon, par CH. PERRAULT, 9 gravures, dessins d'ADRIEN MARIE et CASTELLI. 1 volume in-4, cartonné. 2 fr. 50
- RIQUET A LA HOUPPE, par CH. PERRAULT, 13 gravures, dessins d'ADRIEN MARIE et X... 1 volume in-4, cartonné. 2 fr. 50

RONDES ET CHANSONS POPULAIRES ILLUSTRÉES

NOUVELLE ÉDITION ENTIÈREMENT REVUE ET CORRIGÉE

A chaque chanson est jointe la musique avec un accompagnement pour piano, par M. VERHIMST, de la Société des concerts. 1 volume in-8 illustré de 230 vignettes en noir et 4 chromos. Prix : broché, 10 fr.; relié. 13 fr. »

LES NEVEUX DE TANTE ROSINE

Par Mme DE SILVA, ouvrage illustré de 36 vignettes par MORIN. 1 volume grand in-8; relié 8 fr. »

HISTOIRE DES BEAUX-ARTS

Représentant les chefs-d'œuvre de l'art chez tous les peuples et à toutes les époques, par RENÉ MÉNARD, rédacteur en chef de la *Gazette des Beaux-Arts*. 1 magnifique volume in-8, illustré de 414 gravures. Prix : broché, 12 fr.; relié . . . 15 fr. »

LA BIBLE ILLUSTRÉE

Par l'abbé DRIoux, ouvrage approuvé par Mgr le Cardinal-Archevêque de Bordeaux, et par NN. SS. les Evêques de Tarbes, de Saint-Claude et de Langres. 2 volumes in-8 illustrés de 620 vignettes, brochés. 20 fr. »

2 volumes reliés en un, demi-chagrin, tranche dorée. 26 fr. »

HISTOIRE POPULAIRE DE LA FRANCE

Depuis la Gaule indépendante jusqu'à nos jours (1865). 8 volumes illustrés de 2454 vignettes. Brochés, 60 fr.—Les 8 vol. reliés en quatre, demi-chagrin tranches dorées. 84 fr. *Chaque volume se vend séparément*, broché. 7 fr. 50

MOLIÈRE, ŒUVRES COMPLÈTES

2 volumes in-8, enrichis de 800 vignettes, brochés 16 fr. »

2 volumes reliés en un, demi-chagrin, tranche dorée. 22 fr. »

LES MILLE ET UNE NUITS

Contes arabes traduits par GALLAND. 2 vol. in-8 illustrés de 600 vignettes 16 fr. »

2 volumes reliés en un, demi-chagrin, tranche dorée. 22 fr. »

MONSIEUR LE HULAN

PAR PAUL DÉROULEDE

Un magnifique album en couleurs, in-4° raisin, illustré d'après les aquarelles et dessins de P. KAUFFMANN. Relié. 5 fr. »

PETITES GREDINERIES PARISIENNES

Bel album in-4° de 44 dessins, par A. Grévin. Prix 3 fr. 50

L'ÉCARTÉ

TRAITÉ MATHÉMATIQUE DU JEU DE L'ÉCARTÉ

Par Émile DORMOY, Ingénieur en chef des Mines

Un vol. in-8° anglais, contenant les règles, la manière de jouer, la marque et de nombreux exemples figurés par des cartes spécialement gravées pour cette édition et tirées en rouge et noir. Prix cartonné. 6 fr.

LA BOUILLOTTE

Traité du jeu de la Bouillotte, par ÉMILE DORNOY, avec une préface par FRANCISQUE SARCEY,
1 vol. in-8 2 fr. »

LE BACCARA

Théorie mathématique du jeu de Baccara, par ÉMILE DORNOY, ingénieur des mines,
1 vol. in-8 5 fr. »

PARIS DE COURSES

Théorie mathématique des paris de courses, par ÉMILE DORNOY, ingénieur des mines,
1 vol. in-8 2 fr. »

Le WHIST à TROIS ou MORT

Un vol. in-8 anglais, contenant les règles, la manière de jouer, la marque et 122 exemples figurés par des cartes spécialement gravées pour cette édition, et tirées en rouge et noir

PRIX CARTONNÉ : 6 FRANCS

PARIS ILLUSTRÉ

ILLUSTRÉ DE GRAVURES EN PLUSIEURS COULEURS

16 pages de texte et gravures

La collection complète de la 1^{re} série (années 1883 à 1887)
est en vente reliée au prix de 79 francs.

Il n'en reste plus que quelques exemplaires.

HERBIER

MAGNIFIQUE ALBUM TRÈS SOLIDEMENT RELIÉ, 36 C. HAUT. 29 C. LARG.

Cet Album est le cahier le plus commode pour ranger et classer toutes les fleurs et plantes que l'on récolte.

Il contient des feuilles mobiles pointillées et gommées pour faire les ligatures qui tiennent les plants et des feuilles d'étiquettes gommées, pointillées et imprimées pour inscrire leur famille, leur genre et leur espèce, 10 fr.; *franco*. 12 fr. »

Carton pour remplacer la boîte d'herborisation, 6 fr.; *franco* 7 fr. »

LE CYCLE

ORGANE HEBDOMADAIRE ILLUSTRÉ DE LA VÉLOCIPÉDIE

Paraissant tous les vendredis.

Abonnement : France, 12 fr. — Union postale, 15 fr. — Le numéro, 0 fr. 25 c.

Année 1891. — 1 volume relié et carton pour itinéraires. 7 fr. 50

Année 1892. — 2 volumes reliés et cartons pour itinéraires à 8 francs. . . . 16 fr. »

ITINÉRAIRES DÉJÀ PARUS :

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1. Paris à Dreux et à Nonancourt (100 kil.). | 41. Troyes à Langres. |
| 2. Belle-Isle à Brest (100 kil.). | 42. Paris à Montargis. |
| 5. Paris à Chartres (89 kil.). | 43. Langres à Bâle. |
| 4. Paris à Montereau (73 kil.). | 44. Dunkerque à Calais. |
| 5. Paris à Vernon (72 kil.). | 45. Calais à Boulogne. |
| 6. Paris à Beauvais (78 kil.). | 46. Boulogne à Berck-sur-Mer. |
| 7. Paris à Sentis (66 kil.). | 47. Boulogne à Arras. |
| 8. Paris à Orléans (150 kil.). | 48. Berck à Abbeville. |
| 9. Paris à Rambouillet (50 kil.). | 49. Saint-Valéry-sur-Somme à Dieppe. |
| 10. Paris à Compiègne par Pierrefonds (127 k.). | 50. Dieppe à Fécamp. |
| 11. Paris à Soissons (112 kil.). — Paris à Laon (157 kil.). | 51. Paris à Evreux. |
| 12. Paris à Gisors (75 kil.). — Beauvais à Rouen (81 kil.). | 52. Evreux à Tronville. |
| 15. Tours à Angers (110 kil.). | 53. Fécamp au Havre. |
| 14. Paris à Coulommiers (59 kil.). | 54. Ouistreham à Carentan. |
| 15. Paris à Monthéry (48 kil.). | 55. Honfleur à Cabourg. |
| 16. Pau à Bayonne (107 kil.). | 56. Rouen à Dieppe. |
| 17. Epinal à Nancy (70 kil.). | 57. Rouen au Havre. |
| 18. Montpellier à Carcassonne (160 kil.). | 58. Carentan à Barfleur. |
| 19. Paris à Rouen (129 kil.). | 59. Barfleur au cap de la Hague. |
| 20. Orléans à Nevers (170 kil.). | 60. Dijon à Tournus. |
| 21. Agen à Montauban (72 kil.). | 61. Orléans à Tours. |
| 22. Bayonne à Saint-Sébastien (51 kil. 500). | 62. Coulommiers à Vitry-le-Français. |
| 25. Poitiers à Angoulême (115 kil.). | 63. Chartres au Mans. |
| 24. Angoulême à Bordeaux (125 kil.). | 64. Dijon à Poligny. |
| 25. Paris à Nogent-sur-Seine (97 kil.). | 65. Clermont-Ferrand à Saint-Flour. |
| 26. Paris à Montdidier (110 kil.). | 66. Tournus à Lyon. |
| 27. Montereau à Tonnerre (110 kil.). | 67. Tours à Poitiers. |
| 28. Paris à Château-Thierry (97 kil.). | 68. Orléans à Châteauroux. |
| 29. Paris à Reims (159 kil.). | 69. Angoulême à Rochefort. |
| 50. Paris à Montdidier (110 kil.). | 70. Rennes à Nantes. |
| 51. Montdidier à Arras (80 kil.). | 71. Reims à Verdun. |
| 52. Arras à Dunkerque (112 kil.). | 72. |
| 53. La course du <i>Lyon-Républicain</i> (547 kil.). | 73. |
| 54. Paris à Clermont-Ferrand (537 kil.). | 74. |
| 55. Bordeaux à Blaye (48 kil.). | 75. |
| 56. Bordeaux à Cadillac (55 kil.). | 76. |
| 57. Paris à Troyes (156 kil.). | 77. |
| 58. Troyes à Dijon. | 78. |
| 59. Liège à Reims. | 79. |
| 40. Bordeaux à Toulouse. | 80. |
| | 81. |
| | 82. |

Carte vélocipédique du Bois de Boulogne, 35×25 50 c.

Carte vélocipédique du Bois de Vincennes, 35×25. 50 c.

Carte vélocipédique de Paris à Trouville, 1.35×25. Cette carte, la plus complète qui ait été faite de ce parcours pour la course organisée par le *Matin*, est absolument indispensable aux touristes qui vont de Paris à Trouville. (Avec *plan* et *profil* de la route.) 1 fr.

SUPPORT

Pour cartes itinéraires, avec plaques celluloïd. 6 fr. 50

Pour les abonnés du "Cycle" 4 fr. 25.

Album Illustré du "CYCLE"

POUR 1893

PRIX : 2 FR. 50 — POUR LES ABONNÉS DU *Cycle* : 1 FR. 50

Port en sus.

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE

Revue générale de la science électrique et de ses applications industrielles, bi-mensuelle

Paraissant le 10 et le 25 du mois.

Abonnements : Un an, France, 24 fr.; Union postale, 26 fr.; le numéro, 1 fr.

TOME I^{er}, ANNÉE 1892, AVEC TITRE ET TABLES, BROCHÉ : 25 FRANCS

LA VIE CONTEMPORAINE

REVUE DE FAMILLE

PARAISANT LE 1^{er} ET LE 15 DE CHAQUE MOIS

ABONN. — Un an : France, 30 fr.; Union post., 38 fr. — Le numéro, 1 fr. 50; Union post., 2 fr.

REVUE DES ARTS GRAPHIQUES (GUTENBERG-JOURNAL)

Paraissant tous les Samedis

ORGANE PRATIQUE DE LA TYPOGRAPHIE, DE LA LITHOGRAPHIE, DE LA PAPETERIE
DE LA GRAVURE ET DES ARTS QUI S'Y RATTACHENT

Abonnements : France, 12 fr.; Union postale, 15 fr. — Le numéro, 25 cent.

ANNUAIRE DES COMMERÇANTS

Fabricants, Marchands en gros et au détail, Commissionnaires en marchandises, Entrepreneurs de bâtiments, Officiers ministériels, Cafés, Hôtels, etc., etc., de Paris, de la Seine, de Seine-et-Oise, de Seine-et-Marne, de l'Oise, d'Eure-et-Loir et des principales maisons de France et de l'Étranger.

(ANNUAIRE LAHURE)

CONTENANT

300.000 ADRESSES

1893. — XXX^e année. Prix cartonné, 5 francs; franco, 6 50.

Union postale 7 fr. 50.

GUIDE ROSENWALD

ANNUAIRE DE STATISTIQUE MÉDICALE ET PHARMACEUTIQUE

Contenant les listes par ordre alphabétique et par département de tous les médecins, pharmaciens, officiers de santé de Paris, de la France, de ses Colonies et de l'Alsace-Lorraine.

7^e ANNÉE. — 1893. — 3 francs

ANNUAIRE

DE

L'UNION DES FEMMES DE FRANCE

Statuts. — Organisation des services. — Programme des cours. — Liste des élèves ayant subi les examens. — Membres donateurs. — Liste des membres de la Société. — Conseil d'administration. — Comité consultatif, etc.

L'OFFICE DE PUBLICITÉ A. LAHURE

9, RUE DE FLEURUS, A PARIS

Est seul concessionnaire de la publicité dans les périodiques ci-dessous.

L'ILLUSTRATION	Paraissant chaque semaine
LA NATURE	— — —
JOURNAL DE LA JEUNESSE (LE) .	— — —
TOUR DU MONDE (LE)	— — —
CYCLE (LE)	— — —
REVUE DES ARTS GRAPHIQUES.	— — —
LA VIE CONTEMPORAINE.	— — —
RÉFORME ÉCONOMIQUE (LA) . .	— — —
L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE . . .	Paraissant deux fois par mois.
REVUE D'ANTHROPOLOGIE . . .	Paraissant tous les deux mois.
REVUE D'HYGIÈNE	Paraissant tous les mois.
BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ CHIMIQUE	Paraissant deux fois par mois
BULLETIN OFFICIEL DE L'UNION DES FEMMES DE FRANCE. . .	Paraissant tous les mois.
LES PETITES AFFICHES (publicité industrielle et commerciale)	Paraissant tous les jours.

FORMULAIRE DE L'ÉLECTRICIEN	Paraissant tous les ans.
ANNUAIRE DES COMMERÇANTS.	— —
GUIDE ROSENWALD (Annuaire de statistique médicale et pharmaceutique).	— —
ANNUAIRE DE L'UNION DES FEMMES DE FRANCE.	— —

L'office de publicité se charge de transmettre, sans frais, les abonnements et les annonces pour tous journaux de France et de l'étranger.

V^{ème} — CONGRÈS INTERNATIONAL
DE
NAVIGATION INTÉRIEURE
*
PARIS 1892
*—

SECRÉTARIAT GÉNÉRAL

Adresse Télégraphique

INTERNAUTE-PARIS

Bourse de Commerce — Rue du Louvre — Paris

DEAR SIR.

We have the honour to inform you that, as a consequence of the Congresses precedently held at Brussels in 1885, at Vienna in 1886, at Frankfort-on-Main in 1888 and at Manchester in 1890, the Fifth International Congress on Inland Navigation will be held in the month of July of the present year in Paris, under the high patronage of the Président of the Republic.

You will find joined herewith several documents on the Congress of 1892 giving all necessary details and informations.

Document N^o 2^{ter} gives the names of the members of the Organizing Committee as well as the composition of the Committees in France and abroad which have been formed to patronize the future Congress, and whose help will be most precious.

No comment is necessary on the statutes of the Congress (Document N^o 3^{ter}).

Documents N^o 4^{ter} and 5^{ter} give the programme of questions to be submitted in the sittings of Congress, as well as the names of the reporters. We have judged that, in order to ascertain useful results, it is absolutely necessary for the members of the Congress to have a thorough knowledge of the questions before the opening of the session. The realizing of such a condition will be very much facilitated if each member receives the reports long enough beforehand and in the language most familiar to him. We have therefore decided to distribute three editions of these reports : in French, English and German. We are well aware of the difficulty of such an undertaking and beg to solicit beforehand the indulgence of the members for any incorrection that the translations may contain. With this reservation, each member is begged to state which edition of reports he desires.

An Exhibition will be annexed to the Congress. Printed forms for the designation of the objects to be exhibited will be forwarded on demand.

Two principal excursions, one before and the other after the Congress, are under examination. Their definitive organization depends on the number of adherents. The first will comprise the Canals in the North of France, the *Fontinettes* lift and the Dunkerque and Calais docks. Members who intend to take part in this

excursion ought to assemble on the evening of the 18th of July at Lille : they will be back in Paris on the evening of the 20th. The object of the second excursion would be the visit to the Canals in the Center of France, the works for canalizing the Saône and straightening the Rhône and the *Furens* reservoir near St-Etienne. This excursion to last four days and to end at Lyons on the evening of the 3rd of August.

Several smaller excursions will also be organized during Congress : on the Seine, the Marne and the Paris Canals.

Lastly we can assure, even now, that Members will enjoy a reduction of 50 0/0 on all French Railways.

We hope that you will give a favourable reply to our demand and adhere to the Fifth International Congress on Inland Navigation. In the case of your adhesion we beg you to fill up the double form enclosed and to forward it with the amount of your subscription to the address given.

We have the honour to be

Dear Sir,

Your most obedient servants.

*The President of the Chamber of Commerce of Paris,
President of the Organizing Committee,*

J. COUSTÉ.

*The Inspector Général of Ponts et Chaussées,
President of the Organizing Committee,*

GUILLEMAIN.

V^{ÈME} CONGRÈS INTERNATIONAL

DE

NAVIGATION INTÉRIEURE

PARIS — 1892

NOMS DES RAPPORTEURS

1^{ère} Question. — Consolidation des Berges des Canaux.

ALLEMAGNE.	MM. le Professeur SCHLICHTING, Président de l'Union Centrale pour le développement de la Navigation sur les Fleuves et Canaux en Allemagne, à Berlin.
ÉTATS-UNIS.	MARTIN SCHENCK, Ingénieur consultant, à New-York.
FRANCE.	PESLIN, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Douai.
HOLLANDE.	H. PH. VAN DER SLEÏDEN, Ingénieur en chef du Waterstaat, à Maëstricht.
RUSSIE.	DE HCERSCHELMANN, Ingénieur, Chef de bureau au Ministère des Voies de communication, à Saint-Petersbourg.

2^{ème} Question. — Alimentation des Canaux.

BELGIQUE.	MM. LEBOUcq, Ingénieur des Ponts et chaussées, à Ypres.
FRANCE.	DENYS, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Épinal.

3^{ème} Question. — Étanchement des Canaux.

FRANCE.	MM. THOUX, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Nancy.
ITALIE.	{ le Commandeur BOMPIANI, Président du Conseil des Travaux Publics, à Rome, et le Chevalier LUIGI LUIGGI, Ingénieur du Génie civil, à Gènes.

4^{ème} Question. — **Réservoirs.**

ÉGYPTE.	MM. BAROIS, Secrétaire général du Ministère des Travaux Publics, au Caire.
ESPAGNE.	LLAURADO, Ingénieur en chef du District Forestier, à Madrid.
FRANCE.	BOUVIER, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, à Paris. CADART, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Langres. FONTAINE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Dijon.
RUSSIE.	DE HOËRSCHELMANN, Ingénieur, Chef de bureau au Ministère des Voies de communication, à Saint-Pétersbourg.

5^{ème} Question. — **Chômages des Canaux et des Rivières canalisées.**

ALLEMAGNE.	MM. GERMELMANN, Ingénieur en chef, à Berlin.
BELGIQUE.	MAILLIET, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Bruxelles.
FRANCE.	CAPTIER, Secrétaire du Syndicat de la Marine, à Paris. DERÔME, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Compiègne. MAZOYER, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Nevers.

6^{ème} Question. — **1^o Traction sur les Canaux. — 2^o Traction sur les Rivières canalisées. — 3^o Traction sur les Rivières à courant libre.**

ALLEMAGNE.	MM. { BELLINGRATH, Directeur de la Compagnie « Kette », à Dresde, et DIECKHOFF, Ingénieur en chef, Conseiller intime, à Potsdam. MÜTZE, Inspecteur de la Navigation du Rhin, à Coblenze. THIEM, Conseiller royal de Travaux, à Eberswalde.
ÉTATS-UNIS.	JOHN BOGART, Ingénieur en chef de l'État de New-York, à New-York.

- FRANCE. MM. CAMÉRÉ, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées,
à Paris.
DERÔME, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées,
à Compiègne.
LASMOLLES, Directeur de la Compagnie du Touage
de la Haute-Seine, à Paris.
MOLINOS, Ingénieur civil, à Paris.
- RUSSIE WILKEN, Ingénieur, Chef de bureau au Ministère des
Voies de communication, à Saint-Pétersbourg.

7^{ème} Question. — Taxes et péages sur les voies navigables.

- ALLEMAGNE. MM. SYMPHER, Ingénieur en chef, à Holtenau-Kiel.
- BELGIQUE. NYSENS-HART, Ingénieur des Ponts et Chaussées,
Chef du Cabinet du Ministre des Travaux Publics, à
Bruxelles.
- FRANCE. BEAURIN-GRESSIER, Chef de la Division de la
Navigation au Ministère des Travaux Publics, à Paris.
COUVREUR, Membre de la Chambre de Commerce
de Paris, Président du Syndicat du bassin de la
Villette, à Paris.
- GRANDE-BRETAGNE. CLEMENTS, Secrétaire du « Railway and Canal
Traders' Association », à Londres.
- HOLLANDE. DEKING-DURA, Ingénieur en chef du Waterstaat, à
Zwolle.
- RUSSIE DE SYTENKO, Rédacteur en chef du Journal du
Ministère des Voies de communication, à Saint-
Pétersbourg.

8^{ème} Question. — Régime des ports de Navigation intérieure.

- ALLEMAGNE. MM. VON DÖEMMING, Directeur des travaux de l'Elbe,
Conseiller de Gouvernement, à Magdebourg.
IMROTH, Ingénieur en chef des travaux hydrau-
liques, à Mayence.
- FRANCE. DELAUNAY-BELLEVILLE, Membre de la Chambre
de Commerce de Paris, Ingénieur-Constructeur, à
Paris.
MONET, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Nancy.

9^{ème} Question. — Rôles respectifs des voies navigables et des chemins de fer dans l'industrie des transports.

ALLEMAGNE.	MM.	le Docteur R. VAN DER BORGHT, à Cologne,
		FRANZ MERKENS, à Cologne,
		et
		le Docteur LANDGRAF, Syndic de la Chambre de Commerce, à Mannheim.
		PESCHECK, Ingénieur en chef, Conseiller de Gouvernement, à Francfort-sur-l'Oder.
AUTRICHE.		POLLACK, Secrétaire de l'Elbe-Verein, à Tœplitz (Bohême).
		SCHROMM, Conseiller I. R. de Gouvernement, Inspecteur de la Navigation, à Vienne.
FRANCE.		J. FLEURY, Ingénieur civil, à Paris.
HONGRIE.		le Docteur A. HALASZ, Professeur agrégé à l'École Polytechnique, à Budapest.

10^{ème} Question. — Amélioration des fleuves dans leur partie maritime, y compris l'embouchure.

ALLEMAGNE.	MM.	FRANZIUS, Directeur général des travaux, à Brême.
BELGIQUE.		TROOST, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Anvers,
		et
		VANDERVIN, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Bruxelles.
ÉTATS-UNIS.		CORTHELL, Ingénieur civil, à Chicago.
FRANCE.		GUÉRARD, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à Marseille.
		MENGIN, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, à Paris.
GRANDE-BRETAGNE.		VERNON-HARCOURT, Ingénieur civil, à Londres.
HOLLANDE.		WELKER, Ingénieur du Waterstaat, à Rotterdam.
HONGRIE.		B. DE GOUDA, Conseiller technique au Ministère du Commerce, à Budapest.
RUSSIE.		DE TIMONOFF, Ingénieur du Ministère des Voies de communication, à Saint-Petersbourg.



